

JOÃO DE AZEVEDO

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MULTICRITÉRIO
DE APOIO À DECISÃO NA SELEÇÃO DE
CENTROS DE USINAGEM PARA UMA CENTRAL
DE USINAGEM**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção.

Departamento de Engenharia de Produção.

Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Leonardo Ensslin, Ph. D.

FLORIANÓPOLIS-SC

2001

JOÃO DE AZEVEDO

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À
DECISÃO NA SELEÇÃO DE CENTROS DE USINAGEM PARA UMA
CENTRAL DE USINAGEM**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia**, Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Ricardo Miranda Bárcia, Ph. D.

Coordenador

Banca Examinadora:

Prof. Leonardo Ensslin, Ph. D.

Orientador

Prof. Elio Holz, Dr.

Orientador

Prof. Nelson Back, Ph. D.

Prof^a Sandra R. Ensslin, Ms. C.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio e colaboração da UDESC (Universidade do estado de Santa Catarina) e de outras pessoas. Agradeço a todos, e, em particular aos colegas de turma e aos professores do curso.

E em especial ao Prof. Leonardo Ensslin, que com sua incontestável gentileza e paciência tornou possível a realização deste trabalho; e

Meu pai João Manuel Azevedo (In Memorium) e minha mãe Olívia Zunino de Azevedo, pelo incentivo e apoio dado durante toda à minha vida acadêmica.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. PROCESSOS DECISÓRIOS	7
2. CONSTITUINTES DOS PROCESSOS DECISÓRIOS	9
3. MODELAÇÃO DO CONTEXTO DECISÓRIO	15
3.1. Abordagem interativa	16
3.2. Abordagem do Critério Único de Síntese	17
3.3. Abordagem de Subordinação de Síntese	19
4. A ESTRUTURAÇÃO DE UM CONTEXTO DECISÓRIO	20
4.1 Pontos de Vista: Características e Classificações	22
4.2 Construção das Árvores de Ponto de Vista	26
4.3. Operacionalização dos Pontos de Vista	35
5. ELABORAÇÃO DE UMA FUNÇÃO DE VALOR	39
6. TEORIA DA MENSURAÇÃO	42
6.1 Introdução	42
6.2 Sistemas Relacionais	45
6.3 Definição de Escalas	56
6.4 Unicidade de Escalas	58
6.5 Tipos de Escalas	59
6.5.1 Escalas Nominais ou Classificatórias	59
6.5.2 Escalas Ordinais	60
6.5.3 Escala de Intervalos	61
6.5.4 Escala de Razão	62
6.5.5 Escala Cardinal	62
7. ESCALA CARDINAL SEGUNDO A ABORDAGEM MACBETH	64
7.1 A noção de diferença de atratividade como base para a construção de critérios de valor cardinais	64
7.2 Abordagem MACBETH para construção de um critério cardinal	66
7.2.1 Análise da consistência dos juízos absolutos formulados	70
7.2.2 Formulação matemática do MACBETH: um método iterativo	72
8. INFORMAÇÕES E RELACIONAMENTOS INTER-PVF'S	78
9. O USO DO MCDA NA SELEÇÃO DE UM CENTRO DE USINAGEM	87
9.1. LOCALIZAÇÃO DO PROBLEMA	87
9.2. CONHECENDO UM CENTRO DE USINAGEM	90
9.2.1 Classificação dos Centros de Usinagem	93
9.2.1.1 Quanto ao tipo de máquina	93
9.2.1.2 Quanto ao tipo de comando	94

9.2.1.3 Quanto ao número de eixos programáveis	95
9.2.1.4 Quanto à origem do sistema de referência	98
9.2.2. Conceitos Auxiliares - Eixos de Programação	98
9.3. OBTENÇÃO DO MAPA COGNITIVO	103
9.4. ÁRVORE DOS PONTOS DE VISTA FUNDAMENTAIS	166
9.4.1 - Área de Interesse - Técnico	170
9.4.2 - Área de Interesse - Custo	180
9.4.3 - Área de Interesse - Benefício	182
9.4.4 - Área de Interesse - Pós-Venda	183
9.5. A AVALIAÇÃO NO MODELO MULTICRITÉRIO	185
9.5.1. Definição das escalas de preferência local	185
9.6. A AVALIAÇÃO NO MODELO MULTICRITÉRIO	218
9.6.1 Definição das escalas de preferência local	218
9.6.2 Definição das escalas de preferência global – Inter PVF's	219
9.6.2.2 Taxas de Substituição	219
9.7. AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE CENTROS DE USINAGEM	241
9.7.1. Avaliações dos Centros de Usinagem	243
9.7.2. Resultados Obtidos	245
10. CONCLUSÃO	254
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	257
ANEXOS	264

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Aspectos constituintes do apoio à decisão(Keeney, 1992).</i>	10
<i>Figura 2. Ambiente Decisional (White, 1985).</i>	11
<i>Figura 3. Construção de um mapa cognitivo.</i>	29
<i>Figura 4. Um exemplo de um mapa cognitivo.</i>	32
<i>Figura 5. Um exemplo de uma árvore de PV's</i>	33
<i>Figura 6. Árvore de Pontos de Vista (Corrêa, 1996)</i>	34
<i>Figura 7. Quadro Tipos de Descritores (Adaptado de Keeney, 1992)</i>	38
<i>Figura 8. Indicador de impacto pontual (Roy, 1985)</i>	40
<i>Figura 9. Indicadores de impacto da ação a, segundo uma família de PVF's (bana e Costa, 1995)</i>	41
<i>Figura 10. Classe de equivalência</i>	50
<i>Figura 11. Categorias de Diferença de Atratividade (Bana e Costa, 1993)</i>	69
<i>Figura 12. Matriz de juízos de valor</i>	70
<i>Figura 13. Exemplo de consistência dos juízos formulados</i>	72
<i>Figura 14. Função da Variável c</i>	74
<i>Figura 15. Função das variáveis $\eta(a,b)$ e $\varepsilon(a,b)$ para $C_k (K \neq 6)$</i>	75
<i>Figura 16. Função das variáveis (a,b) e (a,b) para $C_k (K \neq 6)$</i>	76
<i>Figura 17. Esquema interativo Macbeth (Bana e Costa, 1995c)</i>	77
<i>Figura 18. Perfil de impactos da ação a em relação aos n pontos de vista fundamentais (Corrêa, 1996).</i>	82
<i>Figura 19. Operações típicas em centros de usinagem</i>	91
<i>Figura 20. Operações típicas em centros de usinagem</i>	92
<i>Figura 21. Operações típicas em centros de usinagem</i>	92
<i>Figura 22. Eixos de programação</i>	96
<i>Figura 23. Posição do operador em centros de usinagem horizontais</i>	99
<i>Figura 24. Posição do operador em centros de usinagem verticais</i>	100
<i>Figura 25. Centro de usinagem horizontal com 6 eixos. Inclinação da mesa</i>	102
<i>Figura 26. Centro de usinagem vertical com 5 eixos</i>	103
<i>Figura 27. Centro de usinagem horizontal com posicionamento pela coluna com 5 eixos</i>	104
<i>Figura 28. Mapa cognitivo do ator</i>	104
<i>Figura 29. Conceitos ligados diretamente ao conceito objetivo: Selecionar centro de usinagem... comprar máquina inadequada</i>	105
<i>Figura 30. Conceitos que influenciam o conceito: Avaliar especificações técnicas ...não ponderar adequadamente.</i>	106
<i>Figura 31. Conceitos que influenciam o conceito: Definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto... não considerar margem de segurança.</i>	107
<i>Figura 32. Conceitos que influenciam o conceito: Analisar se há compatibilidade com o(s) comando(s) CNC da(s) máquina(s) já existente(s) na empresa... apresentar incompatibilidade.</i>	108
<i>Figura 33. Conceitos que influenciam o conceito: Avaliar as características do comando CNC... não analisar detalhadamente</i>	108

<i>Figura 34. Conceitos que influenciam o conceito: Calcular o tempo efetivo de execução de cada peça ... ter tempo efetivo real, acima ou abaixo do estimado.</i>	109
<i>Figura 35. Conceitos que influenciam o conceito: Calcular e avaliar o retorno do investimento (pay-back)... desembolso inicial ser maior que a capacidade do comprador.</i>	110
<i>Figura 36. Conceitos que influenciam o conceito: Calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem... ter o custo acima do estimado.</i>	112
<i>Figura 37. Conceitos que influenciam o conceito: Avaliar a entrega técnica da máquina... não satisfazer às expectativas do comprador.</i>	112
<i>Figura 38. Árvore dos Pontos de Vista Fundamentais – PVF's</i>	167
<i>Figura 39. Função de Atratividade para o PVE1.1.</i>	187
<i>Figura 40. Função de Atratividade para o PVE1.2.</i>	188
<i>Figura 41. Função de Atratividade para o PVE1.3.</i>	189
<i>Figura 42. Função de Atratividade para o PVE1.4.</i>	190
<i>Figura 43. Função de Atratividade para o PVE1.5.1</i>	191
<i>Figura 44. Função de Atratividade para o PVE1.5.2</i>	192
<i>Figura 45. Função de Atratividade para o PVE1.5.3</i>	193
<i>Figura 46. Função de Atratividade para o PVE2</i>	194
<i>Figura 47. Função de Atratividade para o PVE3.1</i>	195
<i>Figura 48. Função de Atratividade para o PVE3.2</i>	198
<i>Figura 49. Função de Atratividade para o PVE3.3</i>	197
<i>Figura 50. Função de Atratividade para o PVE4.1</i>	198
<i>Figura 51. Função de Atratividade para o PVE4.2.1</i>	199
<i>Figura 52. Função de Atratividade para o PVE4.2.2</i>	200
<i>Figura 53. Função de Atratividade para o PVE5</i>	201
<i>Figura 54. Função de Atratividade para o PVE6.1</i>	202
<i>Figura 55. Função de Atratividade para o PVE6.2</i>	203
<i>Figura 56. Função de Atratividade para o PVE7.1</i>	204
<i>Figura 57. Função de Atratividade para o PVE7.2</i>	205
<i>Figura 58. Função de Atratividade para o PVE7.3</i>	206
<i>Figura 59. Função de Atratividade para o PVE7.4</i>	207
<i>Figura 60. Função de Atratividade para o PVE8.1</i>	208
<i>Figura 61. Função de Atratividade para o PVE8.2</i>	209
<i>Figura 62. Função de Atratividade para o PVE8.3</i>	210
<i>Figura 63. Função de Atratividade para o PVE9</i>	211
<i>Figura 64. Função de Atratividade para o PVE10</i>	212
<i>Figura 65. Função de Atratividade para o PVE11.1</i>	213
<i>Figura 66. Função de Atratividade para o PVE11.2</i>	214
<i>Figura 67. Função de Atratividade para o PVE12.1</i>	215
<i>Figura 68. Função de Atratividade para o PVE12.2</i>	216
<i>Figura 69. Função de Atratividade para o PVE12.3</i>	217
<i>Figura 70. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF1.</i>	224
<i>Figura 71. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVE1.5.</i>	225
<i>Figura 72. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF3</i>	226
<i>Figura 73. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF4</i>	227
<i>Figura 74. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVE4.2.</i>	228
<i>Figura 75. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF6</i>	229

<i>Figura 76. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF7.</i>	230
<i>Figura 77. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF8.</i>	231
<i>Figura 78. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF11.</i>	232
<i>Figura 79. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF12.</i>	234
<i>Figura 80. Escala de valor inter-PVF's</i>	240
<i>Figura 81. Avaliação potencial dos centros de usinagem</i>	245
<i>Figura 82. HIVIEW / Quadro de dominância das alternativas potenciais – PVF</i>	251
<i>Precisão</i>	
<i>Figura 83. HIVIEW / Quadro de dominância das alternativas potenciais – PVF Cursos dos eixos</i>	252
<i>Figura 84. HIVIEW / Mapa de dominância – Precisão e Trocador automático de ferramentas.</i>	252
<i>Figura 85. HIVIEW / Mapa de dominância – Custo de Aquisição e Assistência Técnica</i>	253
<i>Figura I-1.</i>	265

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1. Propriedades de uma Família de Pontos de Vista Fundamentais.</i>	24
<i>Tabela 2. Mapeamento de um conjunto.</i>	53
<i>Tabela 3. Matriz de ordenação dos pontos de vista fundamentais.</i>	79
<i>Tabela 4. Matriz de juízos de valor para ponderação dos PVF's (Corrêa, 1996).</i>	80
<i>Tabela 5. Matriz de impacto das m alternativas, perante os n pontos de vista fundamentais (Corrêa, 1996).</i>	83
<i>Tabela 6. Matriz de impactos das m ações, segundo os n PVF's, com as respectivas avaliações parciais (Corrêa, 1996).</i>	84
<i>Tabela 7. Exemplo dos custos para aquisição de uma central de usinagem</i>	153
<i>Tabela 8. Descritor do PVE 1.1</i>	170
<i>Tabela 9. Descritor do PVE1.2</i>	170
<i>Tabela 10. Descritor do PVE1.3</i>	171
<i>Tabela 11. Descritor do PVE1.4</i>	171
<i>Tabela 12. Descritor do PVE1.5.1</i>	172
<i>Tabela 13. Descritor do PVE1.5.2</i>	172
<i>Tabela 14. Descritor do PVE1.5.3</i>	173
<i>Tabela 15. Descritor do PVF2</i>	173
<i>Tabela 16. Descritor do PVE3.1</i>	174
<i>Tabela 17. Descritor do PVE3.2</i>	174
<i>Tabela 18. Descritor do PVE3.3</i>	175
<i>Tabela 19. Descritor do PVE4.1</i>	175
<i>Tabela 20. Descritor do PVE4.2.1</i>	176
<i>Tabela 21. Descritor do PVE4.2.2</i>	176
<i>Tabela 22. Descritor do PVF5</i>	177
<i>Tabela 23. Descritor do PVE6.1</i>	177
<i>Tabela 24. Descritor do PVE6.2</i>	178
<i>Tabela 25. Descritor do PVE7.1</i>	178
<i>Tabela 26. Descritor do PVE7.2</i>	179
<i>Tabela 27. Descritor do PVE7.3</i>	179
<i>Tabela 28. Descritor do PVE7.4</i>	179
<i>Tabela 29. Descritor do PVE8.1</i>	180
<i>Tabela 30. Descritor do PVE8.2</i>	181
<i>Tabela 31. Descritor do PVE8.3</i>	181
<i>Tabela 32. Descritor do PVF9</i>	182
<i>Tabela 33. Descritor do PVF10</i>	182
<i>Tabela 34. Descritor do PVE11.1</i>	183
<i>Tabela 35. Descritor do PVE11.2</i>	183
<i>Tabela 36. Descritor do PVE12.1</i>	184
<i>Tabela 37. Descritor do PVE12.2</i>	184
<i>Tabela 38. Descritor do PVE12.3</i>	184
<i>Tabela 39. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.1</i>	187
<i>Tabela 40. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.2</i>	188

<i>Tabela 41. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.3</i>	189
<i>Tabela 42. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.4</i>	190
<i>Tabela 43. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.5.1</i>	191
<i>Tabela 44. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.5.2</i>	192
<i>Tabela 45. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.5.3</i>	193
<i>Tabela 46. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVF2</i>	194
<i>Tabela 47. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE3.1</i>	195
<i>Tabela 48. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE3.2</i>	196
<i>Tabela 49. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE3.3</i>	197
<i>Tabela 50. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE4.1</i>	198
<i>Tabela 51. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE4.2.1</i>	199
<i>Tabela 52. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE4.2.2</i>	200
<i>Tabela 53. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVF5</i>	201
<i>Tabela 54. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE6.1</i>	202
<i>Tabela 55. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE6.2</i>	203
<i>Tabela 56. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE7.1</i>	204
<i>Tabela 57. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE7.2</i>	205
<i>Tabela 58. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE7.3</i>	206
<i>Tabela 59. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE7.4</i>	207
<i>Tabela 60. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE8.1</i>	208
<i>Tabela 61. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE8.2</i>	209
<i>Tabela 62. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE8.3</i>	210
<i>Tabela 63. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVF9</i>	211
<i>Tabela 64. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVF10</i>	212
<i>Tabela 65. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE11.1</i>	213
<i>Tabela 66. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE11.2</i>	214
<i>Tabela 67. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE12.1</i>	215
<i>Tabela 68. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE12.2</i>	216
<i>Tabela 69. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE12.3</i>	217
<i>Tabela 70. Níveis Bom e Neutro para os descritores</i>	220
<i>Tabela 71. Ordem de Importância dos PVE's do PVF1 – Fatores Influentes no tempo Efetivo e Execução da peça</i>	221
<i>Tabela 72. Ordem de Importância dos PVE's do PVF1.5 – Velocidade de Avanço Rápido dos Eixos</i>	222
<i>Tabela 73. Ordem de Importância dos PVE's do PVF3 – Cursos dos Eixos</i>	222
<i>Tabela 74. Ordem de Importância dos PVE's do PVF4 – Pallet</i>	222
<i>Tabela 75. Ordem de Importância dos PVE's do PVF4.2 – Dimensões</i>	222
<i>Tabela 76. Ordem de Importância dos PVE's do PVF6 – Precisão</i>	223
<i>Tabela 77. Ordem de Importância dos PVE's do PVF – Trocador Automático de Ferramentas</i>	223
<i>Tabela 78. Ordem de Importância dos PVE's do PVF8 – Custo</i>	223
<i>Tabela 79. Ordem de Importância dos PVE's do PVF11 – Assistência Técnica</i>	224
<i>Tabela 80. Ordem de Importância dos PVE's do PVF12 – Entrega Técnica</i>	224
<i>Tabela 81. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF1 – Fatores Influentes no Tempo Efetivo de Execução da Peça</i>	224
<i>Tabela 82. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVE1.5 – Velocidade de Avanço Rápido dos Eixos</i>	225

<i>Tabela 83. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF3 – Curso dos Eixos</i>	226
<i>Tabela 84. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF4 – Pallet</i>	227
<i>Tabela 85. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVE4.2 – Dimensões</i>	228
<i>Tabela 86. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF6 – Precisão</i>	229
<i>Tabela 87. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF7 – Trocador Automático de Ferramentas</i>	231
<i>Tabela 88. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF8 – Custo</i>	232
<i>Tabela 89. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF11 – Assistência Técnica</i>	232
<i>Tabela 90. Matriz de juízo de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF12 – Entrega Técnica</i>	233
<i>Tabela 91. Ordem de importância dos PVF's</i>	235
<i>Tabela 92. Matriz de juízos de valor para determinação das taxas de substituição entre os PVF's</i>	237
<i>Tabela 93. Taxas de substituição para a ponderação dos PVF's</i>	239
<i>Tabela 94. Perfil de impacto dos centros de usinagem.</i>	242
<i>Tabela 95. Avaliação potencial dos centros de usinagem</i>	244
<i>Tabela 96. HIVIEW – Indicadores de Impacto e taxas de substituição dos pontos de vista.</i>	248
<i>Tabela 97. HIVIEW / Comparativo entre Máquina M_5 e nível BOM.</i>	249
<i>Tabela 98. HIVIEW / Comparativo entre Máquinas M_5 e nível Neutro</i>	249
<i>Tabela 99. HIVIEW / Comparativo entre Máquinas M_5 e M_4</i>	250
<i>Tabela 100. HIVIEW / Comparativo entre Máquinas M_5 e M_1</i>	250

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Formas de agregação de avaliações

18

RESUMO

O desenvolvimento da indústria e o aumento da competitividade conduziram as organizações à profissionalização total de suas atividades. A garantia da permanência no mercado de um determinado produto ou empresa se faz hoje pela capacidade de inovação, absorção de tecnologia, nível de qualidade e preço adaptado às necessidades do mercado. A terceirização aparece então como fator importante para a adequação da missão da empresa à viabilidade econômico-funcional dos processos produtivos. O setor automotivo é na atualidade um dos ramos produtivos mais sintonizados com a utilização de serviços e produtos de terceiros. A confiabilidade nos serviços oferecidos por este tipo de empresa se faz em grande parte, pela qualidade dos equipamentos apropriados é ponto fundamental para o sucesso deste tipo empresa. O alto valor de aquisição de equipamentos para terceirização de serviços no setor automotivo exige dos administradores destas terceirizadas critérios fundamentados de decisão. Afim de facilitar tal escolha propõe-se a construção de um modelo consistente para avaliação de alternativas potenciais de compra de centro de usinagem existentes no mercado. O presente trabalho irá utilizar a metodologia multicritério de apoio à decisão, para a construção de um modelo de seleção/avaliação de centros de usinagem para uma central de usinagem, englobando aspectos objetivos e subjetivos, onde serão contempladas quase duas centenas de variáveis quantitativas e qualitativas, objetivando racionalização de relação custo-benefício presente no processo de aquisição de tal equipamento.

Palavras-chaves: Processos decisórios. Teoria da Mensuração. Método Multicritério.

ABSTRACT

Industrial development and the increase in competitiveness have led to total professional activities in organizations. Nowadays, the assurance of a product or company's permanence in the market is obtained by innovation capacity, technology absorption, quality level and price adapted to market necessities. Third services appear, economic viability of producing processes. The automobile sector is actually one of the productive branches more synchronized to the utilization of third services and products. Reliability in services offered by a kind of enterprise is obtained in the great majority by the appropriate equipment quality and it is the fundamental point for the success of these companies. The high acquisition price of equipment for third services in the automobile sector requires from the third company managers founded decision criteria. In order to facilitate such a choice, the construction of a consistent model to evaluate potential alternatives of purchase of an existing machining center in the market is proposed. The present work will utilize a multi-criterion methodology to support the decision to the construction of a selection/evaluation model for machining center, involving objective and subjective aspects which will be contemplated almost two cents of quantified and qualitative variables, aiming at rationalizing the cost-benefit relation existing in the acquisition process of such equipment.

Keywords: Decision processes, Theory of Measurement, Multi-criterion Method.

INTRODUÇÃO

A competitividade a nível mundial em diversos setores da indústria vem se acentuando desde o início dos anos 80, principalmente no setor automobilístico. No Brasil, esse setor começou a sentir os efeitos dessa competitividade de forma significativa a partir do início da década de 90, com a abertura econômica promovida pelo governo vigente, quando os automóveis nacionais começaram a sofrer a concorrência dos importados.

Com a globalização da economia, a competição em nível mundial se tornou mais acirrada e o consumidor muito mais exigente, gerando reflexos diretos sobre a indústria automobilística brasileira.

Para garantir a sobrevivência na malha competitiva desse setor industrial, precisa-se ter preço competitivo. Para conseguir esse objetivo, a estratégia é baixar o custo de produção. Tal critério impreterivelmente adotado nos processos de tomada de decisão tanto em nível externo quanto interno contribui decisivamente para a adoção de uma política de terceirização. Os altos custos de inovação e manutenção de tecnologia de ponta conduziram os gestores deste setor para a terceirização do processo de usinagem de peças.

A exigência elevada por parte do consumidor e o aumento da concorrência fizeram com que os serviços terceirizados, somente fossem entregues às empresas capazes de garantir e principalmente melhorar os níveis de qualidade até então já conquistados. Deste modo, das empresas candidatas a fornecedores exigiu-se o compromisso de participação de todo o processo produtivo, visando a garantia e a satisfação das exigências do consumidor final.

O cumprimento de tais exigências engloba a adoção apropriada de tecnologia de modo a garantir prazos, qualidade dos produtos, redução de custos de produção, confiabilidade e durabilidade dos serviços prestados. Para a obtenção deste nível de qualificação, os gestores das empresas terceirizadoras, geralmente de pequeno e médio porte, partem para o momento da escolha da tecnologia mais adequada a suas necessidades.

A variedade de equipamentos, modelos e tecnologias presentes no mercado fazem o processo de escolha do equipamento certo, na maioria das vezes, um momento difícil de tomada de decisão para os gestores das empresas terceirizadas.

Para as terceirizadas no ramo industrial, a aquisição de tornos, frezas e centros de usinagem de qualidade, traduzem-se como elementos fundamentais para o sucesso e conquista do mercado em que atuam.

A ordem de investimento financeiro necessária para a aquisição de um centro de usinagem, faz deste momento um dos mais importantes para sustentabilidade, garantia de retorno e permanência da empresa no ramo que pretende atuar.

Visando auxiliar a tomada de decisão pelos gestores das empresas terceirizadas, empregam-se os sistemas de apoio à decisão, de forma a contemplar as características técnicas, custos do processo, benefícios gerados e tendências futuras.

Delimitação do problema

No ramo de terceirização a maioria das empresas se depara com problemas múltiplos de tomada de decisão em todos os momentos de seu cotidiano. Dentro deste contexto enquadram-se as empresas de tornearia e usinagem de peças.

A tomada de decisão tanto mais será eficaz quando gerida por meio de argumentos convenientemente listados, distribuídos e organizados de acordo com seu nível de importância frente ao contexto decisional ocorrido ao gestor.

A sustentabilidade e segurança de uma decisão promovem a adequação dos objetivos da empresa à necessidade do mercado, relevados os aspectos econômicos, sociais e políticos e, sobretudo, os interesses e metas definidas pela organização.

Dentre os problemas mais comuns enfrentados pelos gestores de empresas de usinagem, encontram-se o momento de compra e/ou troca de novos centros de usinagem para uma central de usinagem.

A eficácia na escolha de um centro de usinagem, avaliado como aquele que melhor se enquadra diante das condições físicas, técnicas e financeiras da empresa, consistirá no aspecto decisivo para a permanência e/ou conquista de um padrão de excelência superior as demais empresas concorrentes do mercado.

Para que tal momento de decisão se aproxime do ideal, múltiplos critérios devem ser considerados. Cada um destes critérios deve possuir uma importância relativa perante a avaliação final do melhor centro de usinagem a ser escolhido.

Este trabalho pretende elaborar uma metodologia de análise e seleção de um centro de usinagem para uma central de usinagem, considerando aspectos levantados pelos gestores e técnicos de empresas, do referido setor, sediadas na região Norte do Estado de Santa Catarina.

Importância do Problema

O momento de escolha de um centro de usinagem para uma central de usinagem, enquadra-se como vital para a determinação do sucesso ou fracasso da empresa terceirizada.

A superficialidade de uma avaliação tendo por base apenas preceitos técnicos ou recursos antecipadamente disponibilizados podem levar à aquisição imprópria de um equipamento.

A troca constante de gestores justifica a necessidade de critérios previamente definidos para a seleção, compra e/ou troca de um centro de usinagem.

Identificada a inexistência de qualquer metodologia devidamente comprovada para o apoio à tomada de decisão na área de seleção de centros de usinagem, tem-se que a criação de tal instrumento de avaliação se constituirá em ferramenta fundamental para os gestores da área em estudo.

Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem por objetivo geral a proposição e apresentação de um problema de aplicação da metodologia multicritério de apoio à decisão, para a definição de um modelo de seleção de um centro de usinagem para uma central de usinagem, segundo critérios e aspectos considerados relevantes por empresas do ramo, na região Norte do Estado de Santa Catarina.

Objetiva especificamente:

- Identificar os aspectos essenciais para a avaliação de centros de usinagem;
- Listar os critérios fundamentais para a análise de um centro de usinagem;
- Agregar os diversos critérios em um modelo global de avaliação de um centro de usinagem, contemplando os principais critérios a serem considerados;
- Comparar as diversas opções de centro de usinagem perante o modelo elaborado;
- Selecionar dentre os modelos avaliados, aquele tido como mais próximo do modelo ideal para aquisição;
- Mostrar a aplicabilidade da metodologia multicritério de apoio à decisão; e
- Justificar o uso de técnicas formalizadas no processo de tomada de decisão para a justificação da escolha de determinada alternativa proposta pelo mercado.

Estruturação do Trabalho e Conteúdo dos Capítulos

O trabalho será composto pela introdução, fundamentação teórica, problema de aplicação, conclusão e anexos.

A fundamentação teórica irá contemplar a estruturação e avaliação de um contexto decisional, de forma a se obter os elementos primários de avaliação e pontos de vista

utilizados bem como sua operacionalização. A problemática da mensuração será abordada de forma tal que sejam contemplados aspectos matemáticos e práticos do uso de tal metodologia. Nesta seção serão definidos os descritores, indicadores de impacto, escalas de preferência para descritores e a utilização da metodologia MACBETH com técnica de construção de escalas de preferências locais e globais. Tratar-se-á da descrição do uso do MCDA como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Em seguida, irá se partir para a aplicação da metodologia multicritério de apoio à decisão, constituindo-se desta forma o problema de aplicação em centrais de usinagem. Será realizada a descrição do centro de usinagem, os elementos primários de avaliação a serem considerados, os mapas cognitivos obtidos de tal avaliação, a explicação dos conceitos obtidos a partir do mapa cognitivo, a determinação da árvore de pontos de vista e finalizando com a identificação do modelo de avaliação. Será realizada ainda, a análise de sensibilidade das alternativas de centros de usinagem contidas no mercado.

Em anexo, segue a fundamentação dos descritores, matrizes de juízos de valor e escala de atratividade para os pontos de vista elementares e fundamentais, num comparativo tanto dentro de cada ponto de vista, como entre os pontos de vista elementares e fundamentais utilizados na avaliação.

Como recomendação para trabalhos futuros sugere-se a elaboração de modelos para a avaliação de softwares e hardwares associados às centrais de usinagem aqui trabalhadas, assim como a matéria prima a ser utilizada neste processo industrial.

E por final, na conclusão, consta que o decisor considerou os resultados obtidos como sendo de altíssima significância em decorrência da análise exaustiva dos fatores considerados, que no decorrer do tempo em muito contribuiu para a o processo de aprendizagem do problema por parte do decisor.

PARTE A

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. PROCESSOS DECISÓRIOS

Desde os primórdios até os dias de hoje, as civilizações e organizações praticam a todo o momento a tomada de decisão, onde a missão e os objetivos dos grupos envolvidos devem ser contemplados. Entretanto, uma grande quantidade de dirigentes não apresentam estas variáveis adequadamente definidas.

Definir metas e objetivos em uma organização consiste em estabelecer os alicerces do correto direcionamento para o desenvolvimento da empresa.

Ao reconhecer os caminhos onde deve seguir uma empresa passa a dominar as variáveis indispensáveis para a adequação dos serviços e produtos oferecidos por ela ao mercado no qual está inserida.

O grau de adequação da empresa se faz pelo tipo de produto que oferece, e, sobretudo, pelas necessidades impostas pelo mercado, tanto em aspectos quantitativos quanto qualitativos.

A conquista de resultados positivos é produto do gerenciamento eficaz dos líderes destas organizações, os quais devem promover a atualização e a busca de inovações existentes para equipamentos e tecnologias relacionadas às atividades que desenvolve.

Para que as inovações propostas venham a acompanhar as possibilidades da empresa frente ao mercado que possui, exige-se que a realidade da organização deve estar claramente definida.

Tal definição ocorre quando os gestores destas empresas envolvem em todos os processos decisórios o maior número de variáveis possíveis, de modo que a grande maioria dos interesses da organização venha a ser atendidos. Além de atendidos prima-se pela obtenção de soluções muito bem elaboradas de modo que os resultados obtidos venham a se aproximar em muito de resultados considerados ideais.

Sob esta ótica fica evidente que na grande maioria das vezes, os contextos decisórios apresentam-se mal caracterizados, necessitando de uma melhor identificação de seus vários elementos constituintes. Ao iniciar o estudo em busca destes elementos, ocorre o reconhecimento mais aprofundado do problema, proporcionando uma decomposição das

avaliações gerais em avaliações parciais.

O grau de complexidade das situações decisórias é dado pela quantidade de agentes/atores envolvidos, ou ainda, que venham a interferir no processo de tomada de decisão. Estes apresentam objetivos e critérios de decisão próprios, e primam pela defesa de seus interesses e preferências, gerando um ambiente de natureza caótica, prevalecendo a competição e o conflito.

A tomada de decisão, para a minoria dos decisores, incorpora características pessoais com a premiação dos componentes exclusivos e intransferíveis de sua personalidade, valores e experiência na expressão de sua opinião, de forma que ocorra a garantia de uma decisão que atenda a seus objetivos. Já a grande maioria dos decisores, não tem a habilidade de conseguir este tipo de atuação, descaracterizando na tomada de decisão suas reais aspirações.

Segundo Bana e Costa (1995a), o processo de tomada de decisão é definido como uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que temos naturalmente de escolher não apenas entre possíveis alternativas de ação, mas também entre os pontos de vista e formas de avaliar essas ações, enfim, de considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com a decisão a tomar.

“...em contraste com as abordagens clássicas da Pesquisa Operacional, a estrutura de apoio à decisão multicritério, facilita a aprendizagem sobre o problema e sobre os cursos de ação alternativos, por permitir às pessoas refletir sobre seus valores e preferências segundo diversos pontos de vista”. Afirmam ainda, que “A convicção básica subjacente a toda abordagem multicritério é que, a explícita introdução de diversos critérios, cada um representando uma dimensão particular do problema a ser analisado, e se apresenta como uma opção melhor para uma tomada de decisão robusta ao enfrentar problemas mal definidos e multidimensionais do que a otimização de uma função objetivo unidimensional” (assim como é a análise custo-benefício). (Bana e Costa, Stewart e Vansnick, 1995)

Utilizar uma “Tomada de Decisão Multiobjetivo” (Multiobjective Decision Making - MODM), implica em realizar uma ponderação dos vários objetivos presentes, devido a natureza conflituosa que apresentam. Entende-se como conflito um aumento do nível de desempenho segundo um dos objetivos, acompanhado por uma redução segundo algum dos outros objetivos como ocorre, por exemplo, entre a redução de custo e a perda de qualidade de um produto ou serviço.

Para Drucker (1974), um problema de decisão é um problema em que, face a um conjunto de objetivos, à considerar um conjunto de soluções possíveis, alternativas, - as quais são chamadas de ações potenciais - explícita ou implicitamente definidas, dentre as quais se pretende escolher a melhor ação, ou delimitar o subconjunto das boas, ou ordená-las de forma decrescente de preferência global. Ou, tão somente, descrever as ações e caracterizar as suas múltiplas conseqüências, de forma a facilitar a avaliação e comparação dos méritos e desvantagens.

A abordagem multicritério objetiva estabelecer comparações entre as avaliações das várias alternativas de acordo com vários critérios.

O termo critério, segundo Roy (1985) pode ser definido como “...uma ferramenta que permite comparar alternativas de acordo com um particular eixo de significância, ou um ponto de vista. Mais precisamente, um critério é uma função de valor real sobre um conjunto “*A*” de alternativas, tal que apareça significativamente para comparar duas alternativas “*a*” e “*b*” de acordo com um ponto de vista particular sobre uma base única entre dois números $g(a)$ e $g(b)$.”

Para a coordenação do processo de utilização da abordagem multicritério, existe o facilitador, cuja missão é de promover o apoio ao processo decisório. Para tal, cabe ao facilitador a identificação dos diferentes aspectos relevantes no contexto decisional.

Tais aspectos envolvem e influenciam, sem, no entanto necessariamente estabelecerem entre si uma relação de causalidade e/ou interdependência, no processo de apoio à decisão, conforme indica a Figura 1.

2. CONSTITUINTES DOS PROCESSOS DECISÓRIOS

O nível de detalhamento obtido na atividade de apoio à decisão, visa a construção de uma estrutura partilhada pelos intervenientes do processo (*fase de estruturação*), seguida da elaboração de um modelo de avaliação (*fase de avaliação*) de modo que ocorra uma redução no nível de subjetividade existente no problema em questão.

Em toda a atividade de apoio à decisão existem os atores, com objetivos e valores próprios, e ações que representam os meios para o alcance destes objetivos. Diante disto, cabe ao facilitador a identificação destes objetivos e características, de modo que se obtenha a nuvem de elementos primários, constituintes fundamentais do processo de estruturação e consequentemente para avaliação da situação proposta.

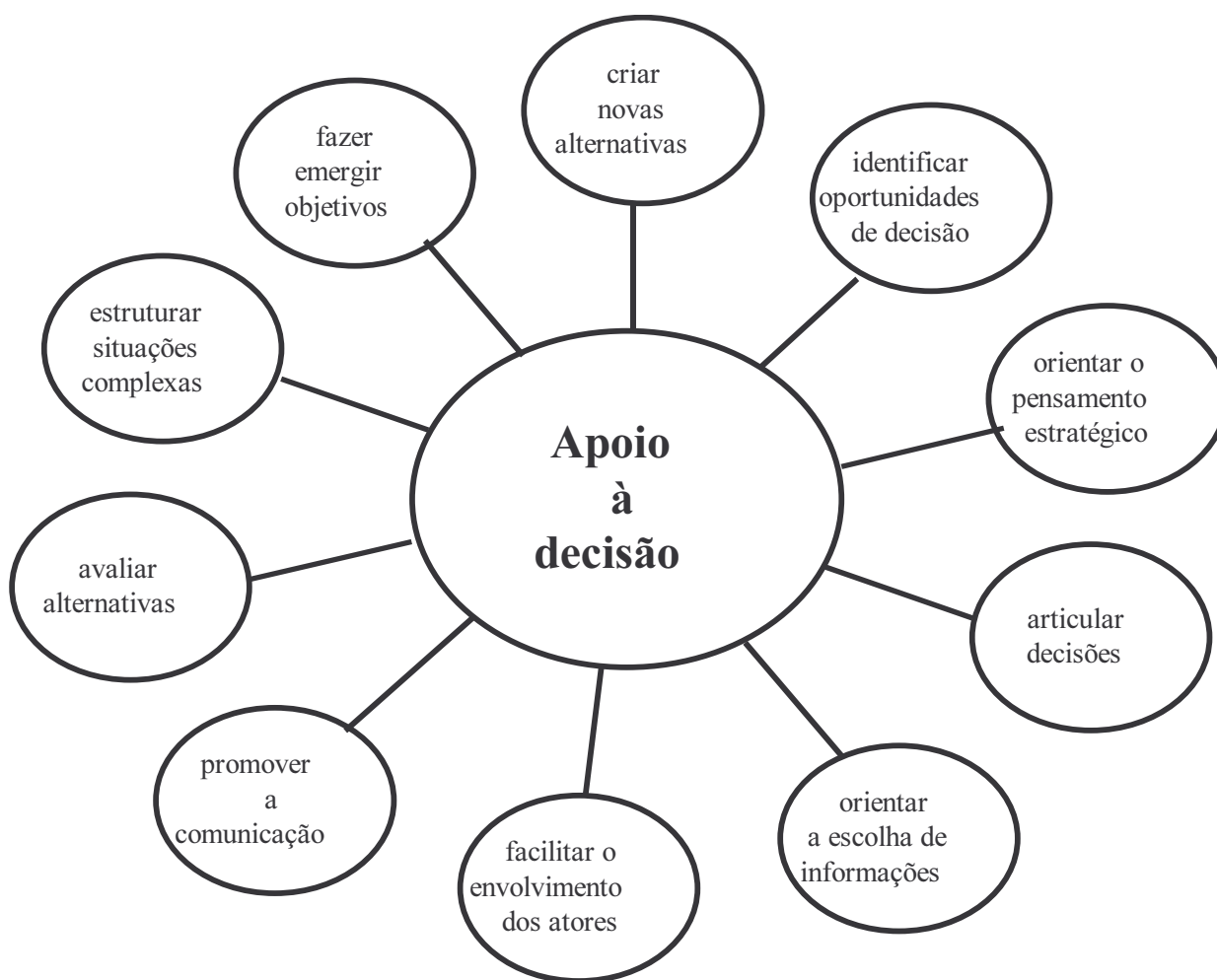


Figura. 1 Aspectos constituintes do apoio à decisão (Keeney, 1992)

Quanto maior o grau de comunicação entre as partes envolvidas, melhor se desenvolverá o processo de tomada de decisão, devido a melhor compreensão dos sistemas de valores dos intervenientes.

Em Banna e Costa (1993) encontra-se a explicitação do ambiente decisional e suas variáveis, como mostra a Figura 2. Tal contexto é formado pelo subsistema dos atores, cada qual com valores próprios, e pelo subsistema das ações, cada qual com suas representações, de modo que objetivos e características apresentam-se intrinsecamente associados, determinando um conjunto de informações indispensáveis para a elaboração do contexto decisório.

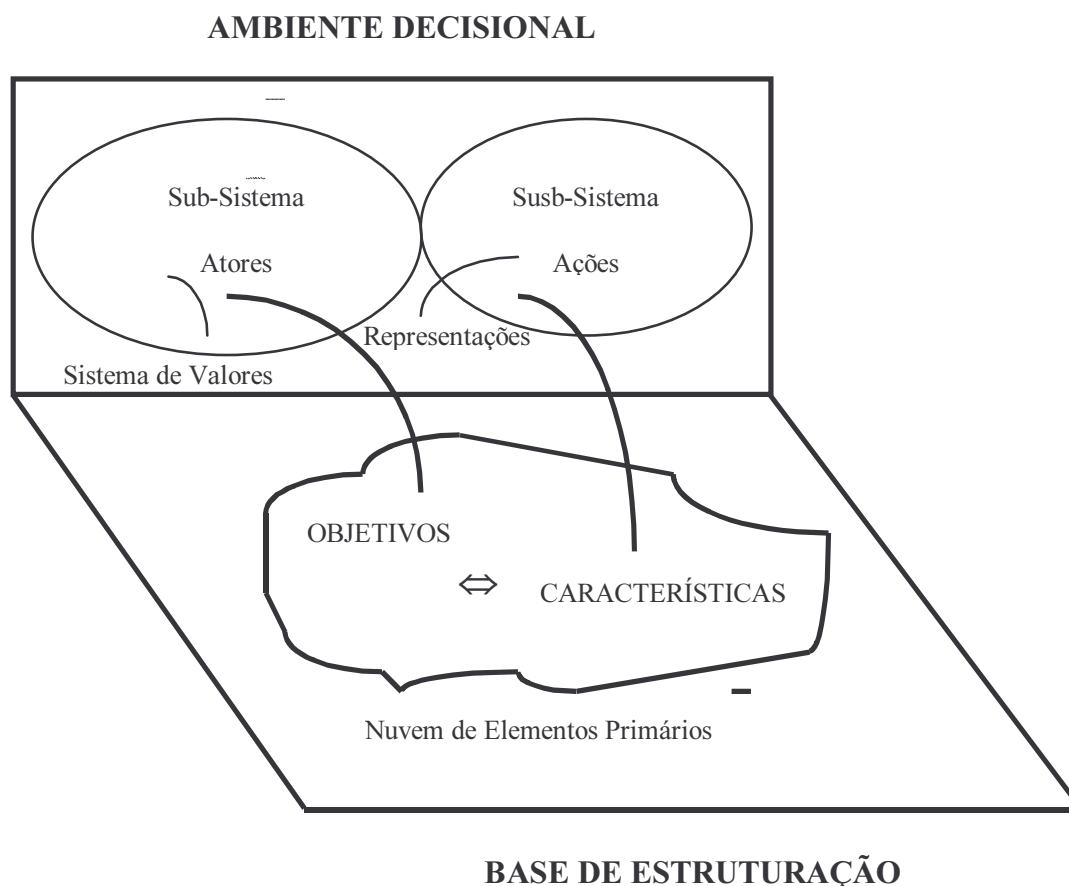


Figura. 2. Ambiente Decisional (White, 1985).

Facilitadores, decisores e/ou seus representantes, são definidos como os atores ou intervenientes do processo, procurando recensear e imaginar o maior número de possibilidades com relação ao objeto de decisão considerado; analisar as conseqüências de cada uma das possibilidades retidas a fim de apreciar as vantagens e desvantagens; comparar as avaliações que resultam a luz dos seus objetivos de maneira a adquirir uma íntima convicção quanto ao valor relativo das diferentes possibilidades, ou o defeito de algumas dentre elas.

Por decisor entende-se aquele quem o processo decisório se destina que detém o poder e a responsabilidade de ratificar uma decisão e assumir as conseqüências desta, sejam elas boas ou más. Entretanto, o decisor dificilmente age isoladamente, apesar de alguns processos serem conduzidos como se existisse um único tomador de decisão, com total autoridade para agir, como cita Quade (Bana e Costa, 1993) no caso do exército, onde fortes elementos de disciplina e hierarquia reduzem a participação de outros, e então o que dizer da existência deste tipo de decisor, em repartições públicas, onde há questões sociais relevantes envolvidas. Quanto mais complexa é a situação maior é o número de entidades implicadas direta ou indiretamente, no processo que conduz à tomada de decisão.

Já o facilitador, segundo Roy (1985) tem a função de tornar o processo de tomada de decisão conforme algumas intenções, levando em consideração os diferentes sistemas de valores envolvidos no processo. Este se caracteriza como um especialista, que ou de forma isolada ou em equipe, trabalha como colaborador próximo de quem decide, mas poderia ser-lhe estranho também. Tal especialista poderia ser oriundo de um serviço de estudo estatal, de um departamento funcional de uma organização ou até de um escritório de estudos especializados.

Cabe ao facilitador nivelar os conhecimentos dos intervenientes no processo decisório, a fim de buscar entendimento, gerando a explicitação mínima necessária para a elaboração de respostas plausíveis, bem como trazer à tona as conseqüências das diferentes posturas tomadas por cada integrante do processo, recomendando uma ou uma série de ações ou ainda uma metodologia.

Quando o decisor não faz ele mesmo o papel do facilitador e o contato entre o facilitador e o decisor não ocorre de forma direta, esta interface é realizada por um “*demandeur*”, ou seja aquele que encomenda o estudo, providencia a execução e que

representa o decisor. O *demandeur* é normalmente um responsável hierárquico (diretor, secretário geral, diretor de produção, chefe de serviço,...). Este deve ter a capacidade de gerar os meios necessários ao estudo e estar em comunicação com o decisor, ele deve levantar o problema ao facilitador e ter o cuidado para não colocá-lo em um problema mal levantado, ou seja, isolado de seu contexto ou formulado segundo uma problemática inadaptada à inserção no processo de decisão. Neste caso, o *demandeur* seria o cliente e o decisor o "detentor do problema".

Cada ator detém um conjunto de propósitos individuais, identificando as ações de implementação desejáveis, determinadas segundo seus objetivos.

Por ação entende-se uma representação de uma eventual contribuição para a decisão global, susceptível, face ao estado de avanço do processo de decisão, de ser tomada de forma autônoma e de servir de ponto de aplicação à atividade de apoio à decisão (Roy, 1985).

Os valores dos atores são os elementos-chave para a construção de um modelo de apoio à decisão, mas um conjunto de ações potenciais é o seu ponto de aplicação. As ações são os meios disponíveis pelos quais os atores, através de seus pontos de vista fundamentais, alcançam seus objetivos estratégicos.

As ações podem ser realistas, quando pertencentes a um projeto cuja execução pode ser considerada como bastante razoável, ou irrealistas, quando correspondem a objetivos não compatíveis ao caso em estudo, servindo, entretanto ao raciocínio e discussão do apoio à decisão podendo tornar-se fontes de novas alternativas.

Quando uma ação se caracteriza como realista recebe o nome de ação potencial, que segundo Roy, é uma ação real ou fictícia provisoriamente julgada realista por um ou vários atores, ou assumida como tal pelo facilitador, tendo em vista fazer evoluir o processo de apoio à decisão. O conjunto de ações potenciais sobre o qual a decisão se apoia no curso de uma fase de estudo é representado por "A".

Roy qualifica ainda as ações em reais, oriundas de um projeto completamente elaborado e suscetível de ser implantadas, ou fictícias quando correspondem a um projeto idealizado, incompleto ou construído na imaginação.

Segundo o autor, uma ação pode ser ideal, quando corresponde rigorosamente à descrição e às conseqüências previstas quando colocada em execução. Tendo em vista suas características fictícias, ou seja, por se tratar de uma ação pertencente a uma subdivisão das ações fictícias que por sua vez são ações idealizadas, incompletas, ou imaginárias, poderia se questionar tal denominação para este tipo de ação. Mas, nota-se que o termo ideal, no contexto apresentado por Roy, reflete exatamente a correspondência entre aquilo que se deseja e aquilo que é descrito pelas conseqüências reais da tomada de tal curso de ação.

Para Roy, uma ação é dita global, se na sua implementação, ela for exclusiva em relação a qualquer outra ação introduzida no modelo, caso contrário, a ação é dita fragmentada, onde a adoção desta ação não necessariamente elimina a adoção das outras e o resultado do processo decisório pode permitir a combinação de diversas ações.

Se o número de ações potenciais é muito grande, ou infinito, deve-se definir um conjunto A de ações, com base nas propriedades características. Enquanto que, se esse número é suficientemente pequeno, A poderá ser definido em extensão. Note-se, no entanto, que uma simples enumeração das ações potenciais não é suficiente para caracterizar as conseqüências da sua eventual implementação. Sendo um conjunto de ações potenciais, o ponto de aplicação da atividade de apoio à decisão, é necessário que esse conjunto seja muito mais que uma simples lista de ações-objetos.

A maneira como o facilitador define o conjunto A de ações, depende da forma como ele pretende conduzir o processo de apoio à decisão. Admitir que A possa ser um conjunto não fechado, isto é, evolutivo, está na essência da atividade de Apoio à Decisão, vista como um processo de aprendizagem. Ao longo do desenrolar do processo, a aquisição progressiva de novos elementos de informação pode dar origem à construção de novas ações. Segundo Bana e Costa (1992), um dos argumentos de maior peso em favor das metodologias multicritério de apoio à decisão é que a sua aplicação favorece a geração de novas e “melhores” ações.

Pela via construtivista, pode-se considerar como ações potenciais, numa determinada fase do processo, à todas as construções que representam as "possibilidades de ação", identificadas pelas recomendações, que o facilitador faz aos seus interlocutores no decorrer das fases do estudo, no sentido de gerar novas ações potenciais; resultados das interações entre facilitador e atores, que surgem com o avanço dos estudos, na medida em que

evolui a definição das preferências; ou a reconstrução potencial de um ou vários tipos de ações-representações sugeridas em relação as recomendações ou resultados, bem como a possibilidade do abandono das mesmas. A reconstrução pode ocorrer também por incorporação de novas informações; e/ou mudança ou evolução das condições características da situação anterior do processo de apoio à decisão.

À ação potencial associam-se indicadores relativos às diversas propriedades, atributos¹ e qualidades que esta possui, sendo estes elementos reconhecidos como as características da ação.

Caracterizadas as ações, suas funções e implicações, assim como os objetivos dos atores encontra-se o facilitador diante de elementos suficientes para o início do processo de estruturação do problema.

3. MODELAÇÃO DO CONTEXTO DECISÓRIO

Na modelização de um contexto decisório, as preferências dos atores devem apresentar-se claramente explicitadas. Como cada ator é portador de um sistema único de preferências, necessita-se desenvolver mecanismos - abordagens operacionais - para a condução do processo de agregação das avaliações parciais das várias alternativas, segundo os vários critérios.

A forma de articulação das preferências dos atores compõe-se no elemento básico de distinção dos métodos multicritério, classificando-se em métodos de articulação prévia e métodos de articulação progressiva de preferências.

¹ Milan Zeleny (1982) identifica atributo como um descritor de uma realidade objetiva. Para o autor, apesar de que os atributos não podem ser separados dos valores do decisor, eles podem ser identificados e medidos com certa independência dos desejos e necessidades do decisor. Um atributo é uma propriedade mensurável, capaz de ser guardada. Segundo Torgenson (1958), atributo pode ser comprimento, comprimento de onda, massa, peso e outros.

3.1. Abordagem interativa

O método de *articulação progressiva de preferências*, também chamada de ou *abordagem do julgamento local interativo*, consiste de uma seqüência de fases de dialogo e de cálculos, ou seja, uma seqüência de experiências e erros, sobre a base de julgamento de caráter local, em direção aos elementos de solução.

Caracteriza-se por um processo relativamente informal, predominante de contextos onde a racionalidade subjacente à decisão alcançada não precisa ser substancialmente documentada, não requerendo desta forma, justificativas para outros atores.

Tal processo interativo consiste numa seqüência de interações entre o facilitador e o decisor, centradas de cada vez sobre um pequeno número de alternativas e suas conseqüências, alternadas com fases de cálculos em que o facilitador seleciona, de acordo com as respostas anteriores do decisor, uma alternativa, que submete no diálogo seguinte à sua apreciação, ou ao seu melhoramento, afim de se determinar uma nova alternativa a qual deve ter um valor maior que o da primeira na função de valor. A continuidade do processo se faz até que o decisor se dê por satisfeito com a alternativa proposta como melhor, satisfazendo-se com a solução apresentada.

Outra forma de modelação consiste na *abordagem da articulação prévia de preferências*, utilizada quando a racionalidade da avaliação das ações e as escolhas precisarem ser justificadas. Exige-se inicialmente, os julgamentos de valor dos atores, independentemente para cada ponto de vista, a fim de construir um modelo de preferências parciais e algumas informações de preferência intercritérios. Estas informações são reunidas por meio de procedimentos matemáticos de agregação multicritérios, a fim de se obter como saída um modelo de avaliação global.

Tal abordagem engloba duas linhas de pensamento: abordagem do critério único de síntese (escola americana) e abordagem de subordinação de síntese (escola francesa).

3.2. Abordagem do Critério Único de Síntese

Também conhecida como do *valor e da utilidade*, busca definir uma função única que represente as preferências do decisor, chamada função de valor/utilidade.

O facilitador tem por objetivo descrever um sistema de preferências e elaborar prescrições com base em hipóteses normativas validadas pela realidade descrita. A modelagem das preferências é feita através da construção de uma função de agregação.

Conforme Roy (1985) existem cinco formas de agregação, as quais são apresentadas na Tabela 1, e para cada uma, o problema consiste em explicitar as hipóteses e os axiomas capazes de justificar seu uso num dado contexto. As hipóteses e axiomas tratam principalmente com o que está na mente do decisor, desde que a função valor/utilidade reflita exatamente quais são as preferências do decisor. Além disso, estas hipóteses e axiomas também tratam da natureza da informação (relativo às grandezas representadas por uma escala ordinal², medidas exatas sobre uma escala de intervalos, variáveis randômicas,...) expressas em valores de desempenho numérico.

Desta maneira, é função do facilitador identificar uma forma de representar as preferências do decisor de acordo com as formas de agregação existentes, apresentadas no Quadro 1.

² Escala onde a relação “maior” vale para todos os pares de classes, originando assim uma ordenação completa por postos.

(1) Forma geral aditiva:
$$U(a) = \sum_{j=1}^n w_j [g_j(a)],$$

onde, $w_j(g_j(a))$ é uma função não decrescente de $g_j(a)$

(2) Soma ponderada:
$$U(a) = \sum k_j \cdot g_j(a), \text{ com } k_j \geq 0.$$

(3) Forma geral de valor esperado:
$$U(a) = \sum_{y_1, \dots, y_n} u(y_1, \dots, y_n) \cdot \delta^a(y_1, \dots, y_n),$$

onde $u(y_1, \dots, y_n)$ é uma função de utilidade multicritérios

(4) Forma aditiva de utilidade:
$$U(a) = \sum k_j \cdot g_j(a),$$

onde, $k_j \geq 0$, com $\sum_{j=1}^n k_j = 1$, e $g_j(a) = \sum u_j(y_j) \cdot \delta_j^a(y_j)$, onde $u_j(y_j)$ é uma função utilidade parcial agregada ao j^{th} atributo e $\delta_j^a(y_j)$ é a distribuição da probabilidade marginal de y_j

(5) Forma multiplicativa de utilidade:
$$U(a) = \frac{\prod_{j=1}^n [1 + k_j \cdot g_j(a)] - 1}{k}, \quad k_j \geq 0, k \neq 0, k > -1$$

com $\sum_{j=1}^n k_j \neq 1$, $g_j(a) = \sum_{y_j} u_j(y_j) \cdot \delta_j^a(y_j)$, onde $u_j(y_j)$ é uma função de utilidade parcial agregada ao j^{th} atributo e $\delta_j^a(y_j)$ é uma distribuição de probabilidade marginal de y_j .

Quadro 1. Formas de agregação de avaliações

As formas de agregação (1) e (2) são as mais comuns, sendo a segunda, modelo da soma ponderada, um caso especial do modelo aditivo, muito conhecido e aplicado na prática. Neste modelo, as funções de valor marginal $u_j(g_j) = w_j g_j$ são lineares, ou seja, retas de inclinação w_j e as curvas de indiferenças são retas no espaço dos critérios. Ambas, tratam essencialmente, mas não exclusivamente, com casos determinísticos,

Segundo Roy (1985), as fórmulas (3), (4) e (5) tratam exclusivamente de casos probabilísticos. Nestes casos a agregação é baseada no conceito de valor esperado. Por definição, a fórmula geral do valor esperado considera uma função utilidade multiatributos, $U(y_1, \dots, y_n)$.

Na prática a função de agregação mais aplicada é o modelo da soma ponderada:

$$V(g) = \sum w_j g_j$$

Função de agregação

onde, w_j entende-se a importância relativa do critério g_j , usualmente chamado de “peso”, ou ainda, de fator de escalarização - “scaling factor”) Vansnick, 1984).

A problemática do processo de modelagem consiste na prática, reside na determinação das taxas de substituição em vários pontos do espaço dos critérios, que permitirão a definição da função de valor global (critério único de síntese) explicitando as preferências do decisor.

3.3. Abordagem de Subordinação de Síntese

As também denominadas relações outranking.

Caracterizam-se inicialmente pela aceitação de situações de incomparabilidade e adoção de um sistema relacional procedimentos de agregação das avaliações são baseados em

relações ordinais, sendo por isto de preferências baseado na subordinação e em seguida, pela explicitação de uma regra (teste de subordinação) que permita uma resposta sintética, exaustiva e definitiva ao problema de agregação dos desempenhos (Roy, 1985).

Tal relação de preferência é explorado pelos métodos ELECTREs, desenvolvidos por Roy, e pelos métodos PROMETHEEs desenvolvidos por J.P.Brans (1985).

Promover o apoio à tomada de decisão, consiste em reconhecer todas as fases do processo.

O sucesso de tal atividade só será alcançado mediante eficaz estruturação da análise do contexto decisional, de modo que sejam contempladas as características objetivas e subjetivas envolvidas no processo.

Responde a fase da estruturação no processo decisório, pela formulação do problema e pela identificação do objetivo a ser alcançado no processo de avaliação.

4. A ESTRUTURAÇÃO DE UM CONTEXTO DECISÓRIO

A estruturação é uma etapa de análise do contexto decisional, e que diz respeito à identificação, caracterização e hierarquização dos principais atores intervenientes e a explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si, em termos de seus méritos e desvantagens relativos face a um conjunto de critérios de avaliação, que foram definidos de acordo com os pontos de vista fundamentais dos atores.

Estruturar um problema decisório pode decisivamente contribuir para tornar o processo de tomada de decisão mais robusto, uma vez que gera uma linguagem comum entre os atores envolvidos no processo, facilitando o debate e o aprendizado sobre o problema. Adicionalmente a estruturação faz com que os atores expressem seu sistema de valores claramente, através da explicitação dos impactos plausíveis das ações potenciais sobre os pontos de vista fundamentais. A estruturação também pode ser a base para a elaboração,

modificação e/ou validação de julgamentos de valor absolutos ou relativos sobre ações potenciais ou oportunidades de decisão.

A estruturação visa a construção de um modelo representativo do problema de decisão. Desta forma a atividade de estruturação pode constituir:

- Em si mesma uma justificativa para a elaboração de um estudo, visando o apoio à compreensão de um ambiente decisional complexo;
- E/ou, um auxílio à comunicação dos atores;
- E/ou, um guia para a construção de novas oportunidades de ação e de melhores ações potenciais, de maneira a melhor satisfazer os pontos de vista dos atores;
- E/ou, a base de suporte para a avaliação e comparação de ações.

Entretanto, existem diversas etapas menores que devem ser desenvolvidas de maneira a se alcançar estes objetivos maiores. É razoável afirmar que a estruturação é desenvolvida em duas grandes etapas. Uma fase de identificação dos elementos da avaliação (objetivos, pontos de vista, conseqüências das ações, características das ações); e uma fase de estabelecimento das relações entre estes elementos. Mais detalhadamente, a atividade de estruturação passa pela:

- Caracterização da situação problemática em questão;
- Identificação e geração de diferentes tipos de elementos primários de avaliação;
- Estabelecimento de relações estruturais entre estes elementos;
- Diferenciação das suas funções no processo de avaliação;
- Descrição tão completa e rigorosa quanto possível deste todo.

A identificação dos elementos primários de avaliação a serem abordados no processo de avaliação, se faz mediante uma pesquisa, junto aos atores, das características

ativas e dos elementos de natureza subjetiva, associados respectivamente às características das ações e aos objetivos dos atores, imbuídos no processo.

O processo de estruturação pode ser facilitado com a utilização de mapas relação meio-fins.

O objetivo da construção de um mapa cognitivo é tornar possível o desenvolvimento de um diálogo construtivo com o(s) decisor(es), gerando assim um grande volume de informações sobre a situação problemática que está sendo analisada. Desta maneira, o processo de construção de mapas cognitivos é extremamente útil para a estruturação de problemas complexos, pois proporciona uma análise do problema com uma riqueza de informações que dificilmente seria possível de se obter sem a utilização desta ferramenta (Eden *et al*, 1988).

A construção de um mapa cognitivo desenvolve-se em quatro etapas: a identificação dos elementos primários de avaliação, a construção do mapa cognitivo, a identificação de agrupamentos (*clusters*) e estabelecimento das relações entre estes agrupamentos. As relações estruturais fornecerão os pontos de vista elementares, e o agrupamento destes, os pontos de vista fundamentais.

4.1 Pontos de Vista: Características e Classificações

Num processo decisório, diversos elementos relacionados ao problema podem se revelar importantes segundo os julgamentos dos atores. Bana e Costa (1993), afirma que estes elementos primários de avaliação dividem-se em duas categorias: objetivos dos atores e características das ações. Assim, no desenrolar do processo de estruturação do problema, uma característica pode ser considerada importante pelos atores intervenientes no processo sem que os objetivos relacionados a ela estejam claros. Por outro lado, um objetivo também pode se tornar importante sem que qualquer característica esteja diretamente ligada a ele. Desta forma, segundo Bana e Costa (1993), as características das ações e os objetivos dos atores são dois fatores decisoriais importantes e que possuem um papel complementar no processo de

construção das preferências dos atores. Por consequência, não se pode afirmar com antecedência que um é mais importante do que outro.

Para Bana e Costa (1993), um “ponto de vista” corresponde à junção das características das ações e dos objetivos dos atores. Segundo o autor, um ponto de vista representa todo aspecto da realidade decisional que os atores entendem como importante para a construção do modelo de avaliação das ações.

Os pontos de vista dividem-se em Fundamental (PVF) e Elementar (PVE).

Um ponto de vista será caracterizado como fundamental quando:

- Servir para a modelação das preferências dos atores;
- Servir de base para a comunicação, argumentação e confrontação de valores e convicções entre os atores (Bana e Costa, 1993);
- Permitir a existência de uma escala de preferência local associada aos níveis de impacto de tal PVF e possibilitar a construção de um indicador de impacto;
- Houver um comprometimento entre os intervenientes no processo de decisão, de submeter as ações à uma avaliação parcial, ou seja, após identificada a importância e o valor do ponto de vista, faz-se a avaliação das ações em relação a este valor isoladamente;
- O desenrolar do processo de estruturação confirmar a validade da hipótese de independência que se afirma existir.

Ter-se-á um ponto de vista fundamental quando este for um fim em si mesmo, ou seja, quando o decisor afirmar que o ponto de vista é importante porque é importante, porque reflete um valor fundamental, dando origem ao que se tornará um critério.

Um ponto de vista será considerado fundamental, quando as propriedades abaixo mencionadas forem obedecidas.

Segundo Bana e Costa (1993), cada ponto de vista candidato a PVF deve obedecer às seguintes propriedades:

Consensualidade: todos os valores representados pelo ponto de vista são realmente importantes;

Operacionalidade: é possível construir uma escala de preferência local associada aos níveis de impacto deste ponto de vista, assim como um indicador de impacto associado ao PV.

Inteligibilidade: quando atuar tanto como uma ferramenta que permita a elaboração das preferências dos atores, quanto como um instrumento que sirva de base à comunicação, à argumentação e à confrontação de valores e convicções entre estes mesmos atores.

Isolabilidade: quando for possível avaliar as ações segundo este PVF considerando todos os demais constantes, ou seja, considera-se que há independência preferencial, e somente esta independência é exigida, entre os PVF's.

Aqueles pontos de vista que por uma razão qualquer não foram considerados fundamentais, são chamados pontos de vista elementares, sendo estes meios para se alcançar pontos de vista fundamentais. Muitas vezes diversos pontos de vista elementares formam um ponto de vista fundamental, ou seja, o PVF representa um fim comum para o qual contribuem diversos valores mais elementares.

Um conjunto de pontos de vista fundamentais pode ser chamado de família de PVF's, e respeitar as propriedades apresentadas na Tabela 1. (conforme Bana e Costa (1993)).

Propriedades de base de uma família de PVF	Consensualidade
	Inteligibilidade
	Concisão
Propriedades lógicas de uma família de PVF	Exaustividade
	Coesão e Monotonicidade
	Não-redundância ou Minimalidade

Tabela 1. Propriedades de uma Família de Pontos de Vista Fundamentais.

Uma família de pontos de vista fundamentais, da mesma forma que os próprios PVF's que a compõem, deve ser inteligível e consensual, nos termos já descritos anteriormente. Além disso, é requerida para uma família de pontos de vista fundamentais uma terceira propriedade: a concisão. Devido a limitação cognitiva natural do ser humano, é tarefa

do facilitador manter o número de pontos de vista fundamentais o mais baixo possível, de forma que se mantenha um entendimento dos decisores a respeito do problema. Por outro lado, segundo Bana e Costa (1993), também deve-se cuidar para que o número de pontos de vista fundamentais não seja muito pequeno, afim de se evitar a conquista da consensualidade.

A exaustividade de uma família de pontos de vista fundamentais é alcançada quando todos os elementos primários de avaliação, julgados importantes ao processo de tomada de decisão, estão sendo considerados no modelo de avaliação das ações potenciais.

Afirma Bana e Costa (1993), que uma família de PVF's deve garantir a coesão entre o papel de cada um dos PVF's envolvidos na formação dos julgamentos de valor locais, e o papel destes mesmos PVF's na elaboração das preferências globais dos decisores. Isto significa dizer que não é possível dissociar a formação destes julgamentos, tanto locais quanto globais, do contexto decisional. A característica de coesão da família de PVF's é essencialmente avaliada pela propriedade de monotonicidade. A monotonicidade pode ser explicada através de um exemplo simples, porém elucidativo. Sejam duas ações potenciais a e b ; considere que a é considerada indiferente à b em todos os pontos de vista fundamentais a exceção do PVF_k ou seja, para todo j , com $j \neq k$, $I_j(a) = I_j(b)$; agora, se para o ponto de vista fundamental k a ação a for considerada mais atrativa que a ação b ($I_k(a) > I_k(b)$), a família de pontos de vista fundamentais só será monotônica se a ação a for considerada globalmente mais atrativa que a ação b . Segundo Roy e Bouyssou, em Bana e Costa (1993), a violação da condição de monotonicidade é bastante rara, porém existem casos relatados.

A última característica importante para que se tenha uma família de pontos de vista fundamentais corresponde à não redundância, de modo que haja a contemplação da minimalidade. As situações de redundância são, em grande parte, associadas a problemas de ligações estruturais, quando certos elementos primários fazem parte da composição de mais de um ponto de vista fundamental, ou quando ocorrem dependências ambientais entre alguns PVF's. No entanto, se não houver redundância na família de PVF's as correlações ambientais podem geralmente ser ignoradas (Bana e Costa, 1993).

Contempladas as características anteriormente citadas, procede-se então a elaboração das estruturas de associação entre os pontos de vista, denominadas de árvores de pontos de vista.

4.2 Construção das Árvores de Ponto de Vista

Após a identificação dos atores envolvidos no processo decisório e a definição do tipo de avaliação (relativa ou absoluta), o facilitador deve, através de seções iniciais de “brainstorming”, levantar um panorama das características consideradas às ações e aos objetivos (manifestações de interesse) dos atores. As funções a serem exercidas por tais elementos primários de avaliação (ações e objetivos) aparecem, inicialmente, de forma caótica, desconexa e mal-definida. O facilitador deve, então, clarificá-los, torná-los operacionais, encontrar suas interconexões e incompatibilidades, enfim, estruturá-los.

O processo consiste em identificar de forma progressiva e interativa os pontos de vista, onde todos os elementos primários, inicialmente dispersos, se ligarão, se reagruparão, e se categorizarão. Tais pontos de vista irão se revelar como primários à formação de julgamentos de valor dos atores e, portanto, como candidatos a serem levados em conta no modelo que o facilitador ajuda a construir (Bana e Costa, 1993, p.114).

A identificação dos elementos primários de avaliação não é o fim do processo da estruturação. Consiste, apenas, em uma etapa que auxiliará a identificar os pontos de vista mais fundamentais sendo que, estes últimos, representam os valores (dos atores) associados a tais elementos primários. A maior parte dos PV's relevantes emergirá, somente, após um trabalho de busca das ligações existentes entre tais elementos e a clarificação de seus significados (Bana e Costa, 1993, p.116), trabalho que pode ser apoiado através da utilização dos *mapas cognitivos*.

A identificação preliminar dos elementos primários, que permitirão o início da construção do mapa cognitivo, pode ser feita em um “brainstorming”, com os atores sendo questionados através de perguntas do tipo:

“Quais são os principais objetivos e preocupações dos atores?”

“Quais as características que diferenciam as ações potenciais?”

“Quais características são ativas?”

“Quais são as relações existentes entre as características e os objetivos?”

“Quais os pontos de vista que devem ser levados em conta?”

Estabelecida uma lista inicial de elementos primários, estes poderão ser meios específicos para se atingir determinado fim, ou um fim propriamente dito. Para cada elemento primário de avaliação o facilitador deve, então, fazer a pergunta “Por que este elemento é importante neste contexto decisório?”. Duas respostas podem surgir por parte dos atores:

- O elemento é uma razão essencial de interesse na situação (“É importante porque é importante!”). Nestes casos tal elemento é um candidato a um *ponto de vista fundamental* (PVF).
- O elemento é importante devido a suas implicações em algum outro elemento (sendo o primeiro um meio para atender o segundo que, portanto, é mais “fim”). Nestes casos o elemento meio é dito um *ponto de vista elementar* (PVE).

Deve-se saber o momento de parar com o questionamento “Por que isto é importante?”, pois esta lógica meios-fins pode acabar levando o ator aos seus objetivos estratégicos (aqueles que indicam não apenas a razão essencial dos atores estarem interessados em uma situação decisional específica, mas também a razão porque eles estão interessados em qualquer situação decisional) (Keeney, 1992, p.66-67). Tais objetivos estratégicos não são operacionalizáveis, por serem excessivamente genéricos. A construção do modelo terá como objetivo básico a definição dos PVF’s.

Através desta lógica, meios-fins, um mapa cognitivo pode começar a ser construído, como é exemplificado na Figura 3, construída da seguinte maneira:

- Dois elementos primários (EP) foram, inicialmente, levantados pelos atores: EP1, EP4.
- O facilitador, então faz a pergunta aos atores: “Por que EP1 é importante?”.
- Os atores respondem: “Por causa dos elementos primários EP2 e EP3”.

- Conclui-se, portanto, que EP1 é um meio para atender a EP2 e EP3. Portanto ele é um ponto de vista elementar (PVE1).
- Procedendo da mesma forma para EP4, os atores respondem que ele é um meio, portanto um ponto de vista elementar (PVE4), para atender ao elemento EP5 (ver Figura 3, onde a direção da seta representa um relação meio-fim, um PVE é representado com um círculo ao seu redor)
- O facilitador pergunta aos atores, agora, “Por que os elementos EP2 e EP3 são importantes?”.
- Os atores respondem que eles são meios para atender ao elemento EP5, portanto são pontos de vista elementares (PVE2 e PVE3, respectivamente).
- O facilitador pergunta, finalmente, “Por que EP5 é importante?”.
- Os atores respondem que “ele é importante porque é importante!”. Neste caso o facilitador encontrou um fim, portanto, um candidato a ponto de vista fundamental (PVF1). Um PVF é representado por quadrado ao seu redor. A Figura (3.e) apresenta o mapa completo.

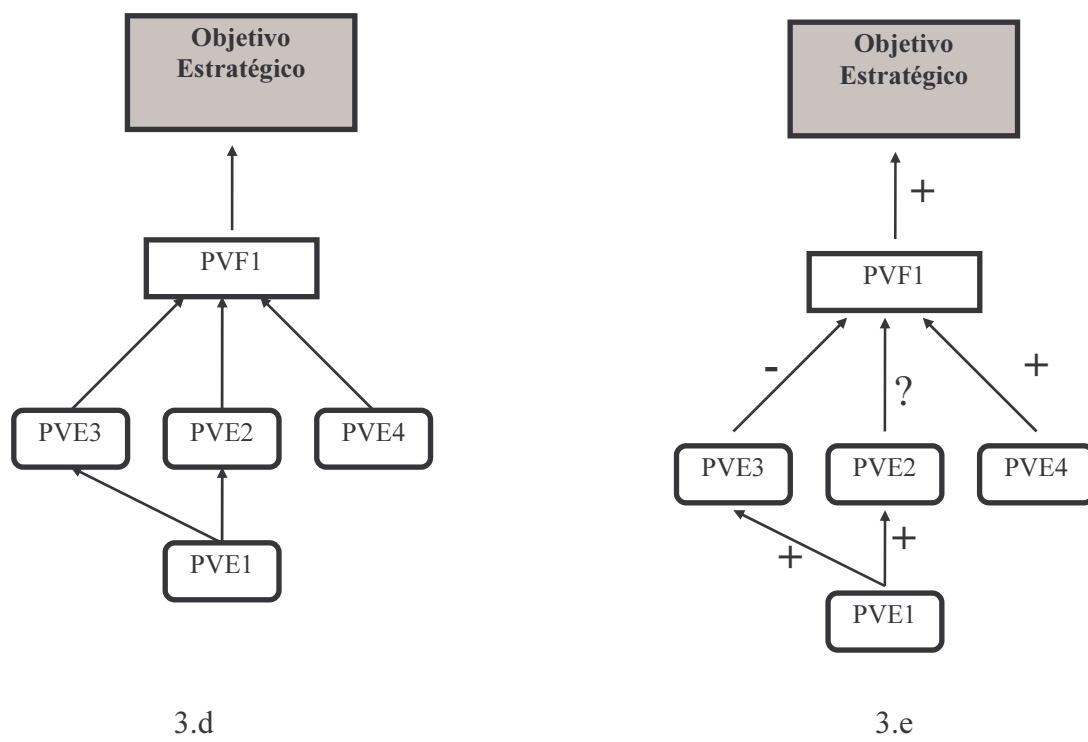
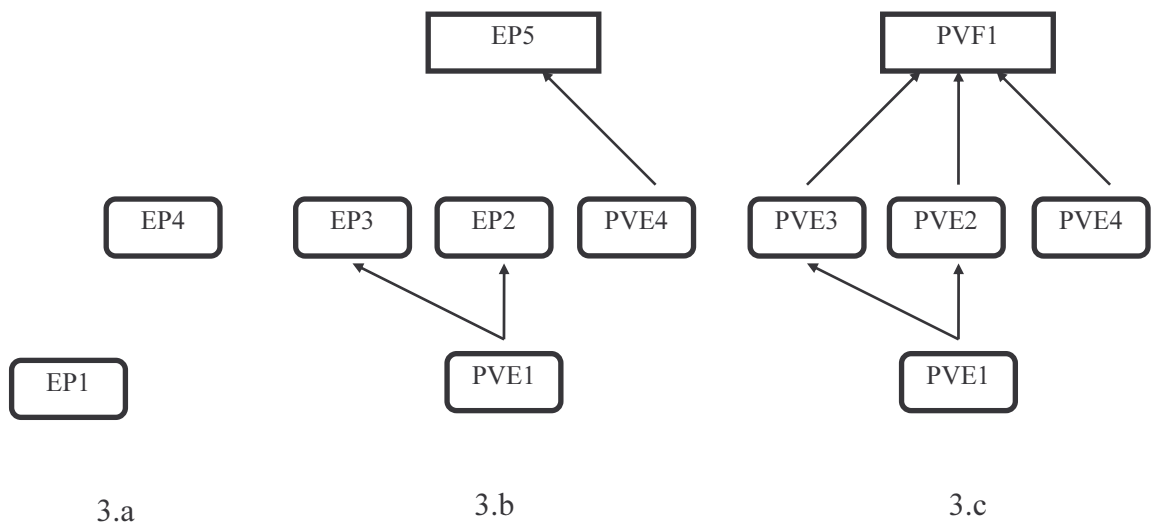


Figura 3. Construção de um mapa cognitivo.

Concluído o mapa de relação meio-fins, o facilitador pode obter a direção de preferência dos atores, com relação ao relacionamento entre cada ponto de vista (meio-fim), assim (ver Figura 3):

- Um sinal positivo (+) significa que um aumento/crescimento em um PV meio provocará um aumento/crescimento no PV fim (por exemplo, o PVE1 meio e o PVE3 fim).
- Um sinal negativo (-) significa que um aumento/crescimento em um PV meio provocará uma diminuição/decrescimento no PV fim (por exemplo, o PVE3 meio e o PVF1 fim).
- Um sinal de interrogação (?) significa que não existe uma clara direção de preferência entre um PV meio e um PV fim definida pelos atores (por exemplo, dado um aumento/crescimento do PVE2, não é possível definir se o PVF1 irá aumentar/crescer ou diminuir/decrescer).

A Figura 4 mostra um mapa cognitivo mais completo sendo PVF1 da figura anterior um dos cinco PVF's. Note-se que ao objetivo estratégico, só chegam setas (pois este é um conceito cabeça). Também não é necessário iniciar a identificação dos PVF's através dos PVE's, como exemplifica o PVF5. A construção de mapas cognitivos pode ser auxiliada através da utilização de softwares, tais como o Decision Explorer (Eden, 1990).

De uma forma geral, os PV's podem ser classificados de acordo com diferentes níveis de especificação e de formalização, como abaixo:

- Grandes áreas de interesse;
- Características;
- Objetivos e fins;
- Índices;
- Normas e critérios de rejeição.

A partir do mapa cognitivo é possível construir uma *árvore de PV's*, como o indicado na Figura 5. Através dela é possível, entre os atores, melhorar a comunicação, melhor compreender o que está em causa naquela situação decisional, permitir clarificar as convicções e os fundamentos destas convicções e buscar um comprometimento entre seus interesses e suas aspirações (conforme seus sistemas de valores) (Bana e Costa, 1993, p.136).

As árvores de PV's servem, ainda, de auxílio à construção de descritores como, por exemplo, na Figura 4 onde o PVF1 poderia ter um descritor que se utiliza dos PVE2, PVE3 e PVE4. Observar também que o PVE6 é um meio de dois PVF's (PVF2 e PVF3), portanto não deve ser utilizado em seu descritor, pois quebraria a propriedade de isolabilidade anteriormente referenciada.

Prefere-se utilizar a denominação árvore de PV's, ao invés de hierarquia como no método AHP (Analytic Hierarchy Process, Saaty (1991)), porque a hierarquização, aqui, ocorre apenas entre o PVF e seus respectivos PVE's. Na Figura 4, por exemplo, PVE2, PVE3, e PVE4, estão hierarquicamente abaixo (são, portanto, mais meio) do PVF1 (mais fim), mas não há nenhuma relação hierárquica entre o PVE5 e o PVF1.

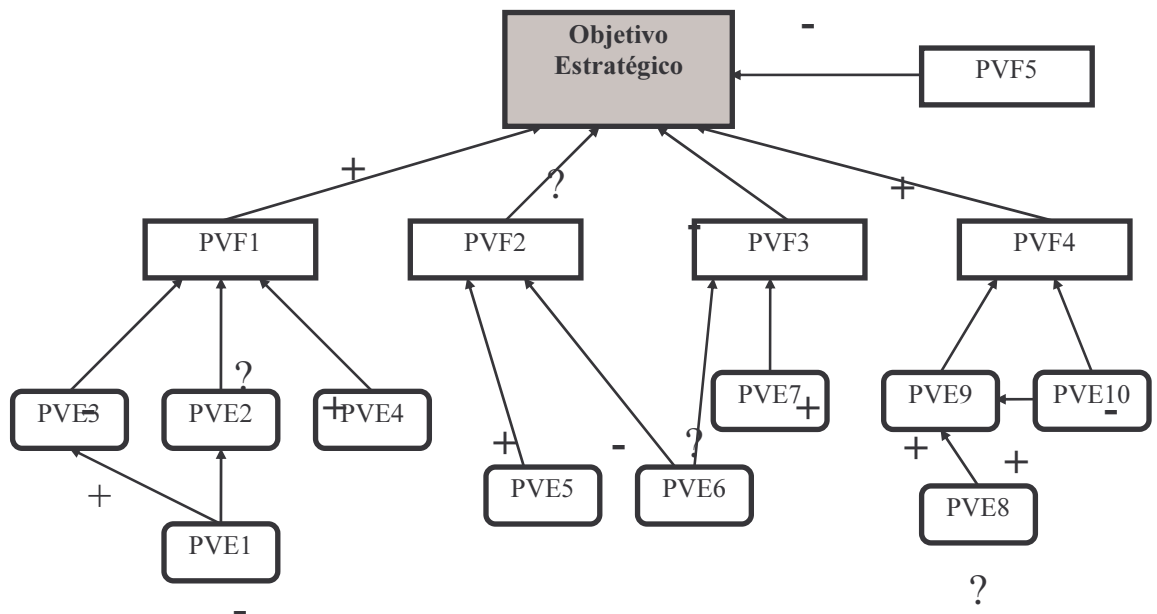


Figura 4. Um exemplo de um mapa cognitivo.

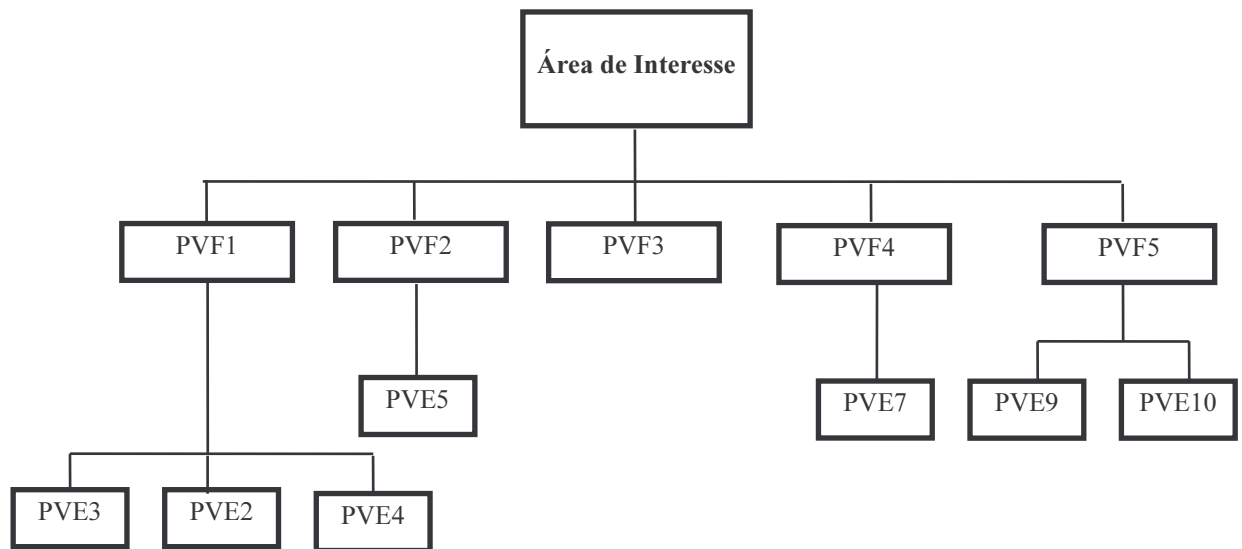


Figura 5. Um exemplo de uma árvore de PV's.

O agrupamento de PVF's vai formar o que Bana e Costa (1993) chama de *áreas de interesse*, ou *áreas de preocupação*, que por sua vez vão formar o objetivo global do processo decisório.

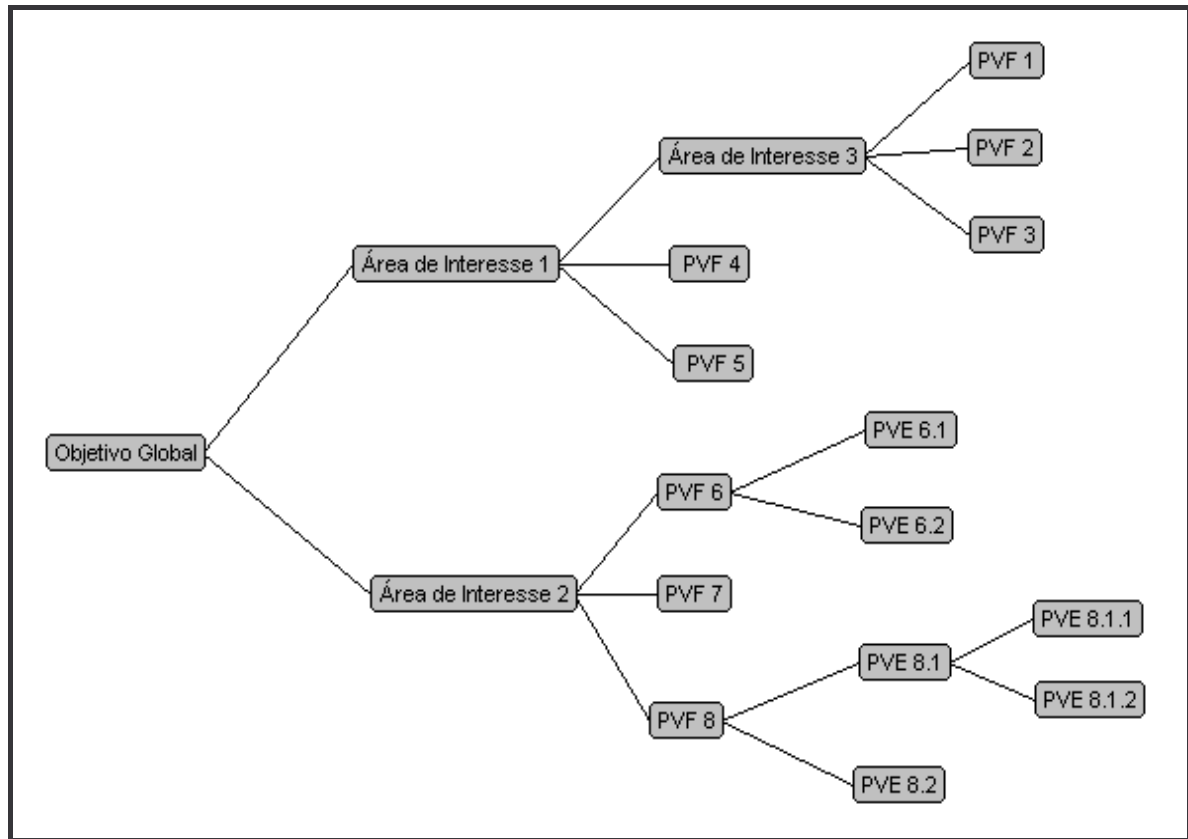


Figura 6. Árvore de Pontos de Vista (Corrêa, 1996).

Nota-se que é possível a formação de uma área de interesse a partir não somente de pontos de vista, mas também de outra área hierarquicamente inferior, como é o caso da Área de Interesse 1 mostrada Figura 6, que é formada pela Área de Interesse 3 e pelos PVF4 e PVF5. Finalmente, se o conjunto de todos os pontos de vista fundamentais escolhidos pelos atores obedecer às propriedades descritas na seção anterior, pode-se então chamá-lo de família de pontos de vista fundamentais.

A árvore de pontos de vista não é o objetivo fim do trabalho do facilitador, e sim, um instrumento de auxílio, utilizado em todo o restante do processo afim de que a decisão tomada seja a melhor.

O processo de estruturação não pode ser dissociado do contexto decisional. O bom uso dos mapas cognitivos como apoio à estruturação depende, em grande parte, da experiência prática anterior no uso da metodologia por parte do facilitador.

Estando com a estrutura arborescente construída, deve-se operacionalizá-los. A operacionalização dos PVF's encontra-se fundamentada na construção de descritores.

4.3. Operacionalização dos Pontos de Vista

Para um PVF tornar-se operacionalizável são criados os descritores, de modo a torna-lo mais inteligível, clarificando seu significado, fazendo com que não haja ambigüidade na sua interpretação pelos diferentes atores, e ainda, sendo capaz de melhorar a comunicação entre os atores intervenientes do processo. Pode levar ainda, segundo Keeney (1992), à geração de ações desejáveis, ou talvez até mesmo a uma “solução” óbvia para o problema.

Para Bana e Costa (1995c), um descritor pode ser definido como um conjunto de níveis de impacto, que servem como base para descrever impactos plausíveis das ações potenciais em termos de cada ponto de vista.

Por *conjunto de níveis de impacto* entende-se uma representação do impacto de uma *ação ideal*, de tal sorte que a comparação de dois níveis quaisquer se diferenciem claramente, aos olhos dos atores, nos termos limitados aos elementos primários que formam o ponto de vista em questão. Tal conjunto uma vez elaborado deve possibilitar sua representação em uma *escala de preferência local* (ou seja, que este conjunto seja dotado de uma estrutura de pré-ordenamento completa tal que $N_j^* \geq \dots \geq N_{k+1,j} \geq N_{k,j} \geq N_{k-1,j} \geq \dots \geq N_j^*$ estabelecendo, assim, uma ordem dos níveis de impacto classificados por sua atratividade), portanto que os níveis N_j estejam totalmente ordenados entre um nível de impacto de maior atratividade plausível N_j^* , e um nível de impacto de menor atratividade plausível N_j^* .

Classificam-se os descritores como:

- *Quantitativos*, descritos adequadamente por números (quantidade de cursos realizados), ou *qualitativos*, identificados apenas por adjetivos ou qualidades (motivação de um funcionário);

- *Discretos*, formados por um número finito de variáveis, ou *contínuos*, descrito por uma função matemática contínua, resultando em um número infinito de variáveis;
- *Diretos ou naturais*, quando dispensam a elaboração de um conceito, por possuírem interpretação comum entre os atores (tempo de experiência em área afim, de um determinado candidato à uma vaga, onde o tempo é medido em anos); *indiretos ou proxy attributtes*³, quando não descrevem diretamente o ponto de vista, mas pode torná-lo operacional (a cultura geral de um candidato, medida em função da quantidade de periódicos lidos em determinado espaço de tempo); ou *construídos*, quando caracterizam o significado de um ponto de vista, baseado na combinação de estados dos elementos primários de avaliação.

Os descritores *construídos* devem ser elaborados de forma tal que não permitam a ocorrência da ambigüidade do descritor. É inadequado, portanto, a utilização de descritores do tipo “muito bom” ou “bom”, pois podem ser interpretados de forma diferenciada por cada um dos atores envolvidos.

Keeney (1992) apresenta a mensurabilidade, a operacionalidade e a compreensibilidade como as três propriedades desejáveis aos descritores, todas elas criticamente afetadas pelo problema da ambigüidade:

Um descritor que é mensurável define um ponto de vista fundamental de forma mais detalhada do que este PVF sozinho. Descritores qualitativos que se utilizam freqüentemente de níveis de impacto do tipo “muito bom”, “bom”, “fraco”, etc., colaboram para a diminuição da mensurabilidade do descritor, já que aumentam o grau de ambigüidade envolvido na definição dos níveis de impacto. Também para descritores indiretos pode haver problemas de mensurabilidade, especialmente quando a escolha do descritor não é adequada ao ponto de vista que se quer tornar operacional.

Keeney (1992) apresenta um exemplo de problema de mensurabilidade em um descritor indireto. Considerando-se o ponto de vista fundamental “maximizar o bem-estar social econômico de determinado país”. Este ponto de vista pode ser medido através do produto interno bruto (PIB) do país. No entanto, o PIB não mede o poder individual de

³ Keeney e Raiffa (1976)

compra das pessoas, muito menos a distribuição de renda do país, que são fatores que podem ser importantes em determinado contexto.

Um descritor é operacional quando é adequado para dois propósitos: tanto para descrever uma possível consequência de uma ação potencial com respeito ao PVF para o qual foi construído; quanto para fornecer uma base sólida de discussão para julgamentos de valor a respeito da atratividade dos vários níveis de impacto sobre o ponto de vista em questão.

Sendo assim, as reais consequências de uma ação potencial com respeito a um dado ponto de vista, devem ser descritas por um, e somente um, nível de impacto do descritor associado a este ponto de vista fundamental. Também é necessário, para garantir a operacionalidade do descritor, que seja possível expressar preferências relativas em relação aos diferentes níveis de impacto deste descritor.

Contemplar a compreensibilidade significa dizer que, não deve existir ambigüidade na descrição das consequências das ações potenciais em relação ao ponto de vista relacionado; e nem deve haver ambigüidade na interpretação destas consequências. Portanto, não deve haver perda de informações quando uma pessoa associa um determinado nível de impacto à uma ação potencial e outra pessoa o interpreta.

A necessidade de *compreensibilidade* de um descritor é mostrada na Figura 7, onde são apresentadas quatro formas de se obter o nível de impacto para o descritor “número de alunos orientados”, associado ao PVF “orientação acadêmica”, dentro de um contexto de avaliação de docentes em uma universidade.

No descritor 1 o número de alunos é diretamente associado à escala (a flecha indica que valores superiores a 60 podem ser diretamente alocadas à mesma), por exemplo 17 alunos.

O descritor 2 já contém alguma ambigüidade, e algumas informações são perdidas, pois 11 e 20 alunos passam a ter o mesmo sentido, já que pertencem ao mesmo nível de impacto 11-20. Ainda mais, os números 20 (nível de impacto 11-20) e 21 (nível de impacto 21-30) estão em níveis de impacto diferentes embora representem apenas 1 aluno de diferença. Enquanto isto os números 11 e 20 pertencem ao mesmo nível de impacto (11-20), embora estejam separados por 9 alunos.

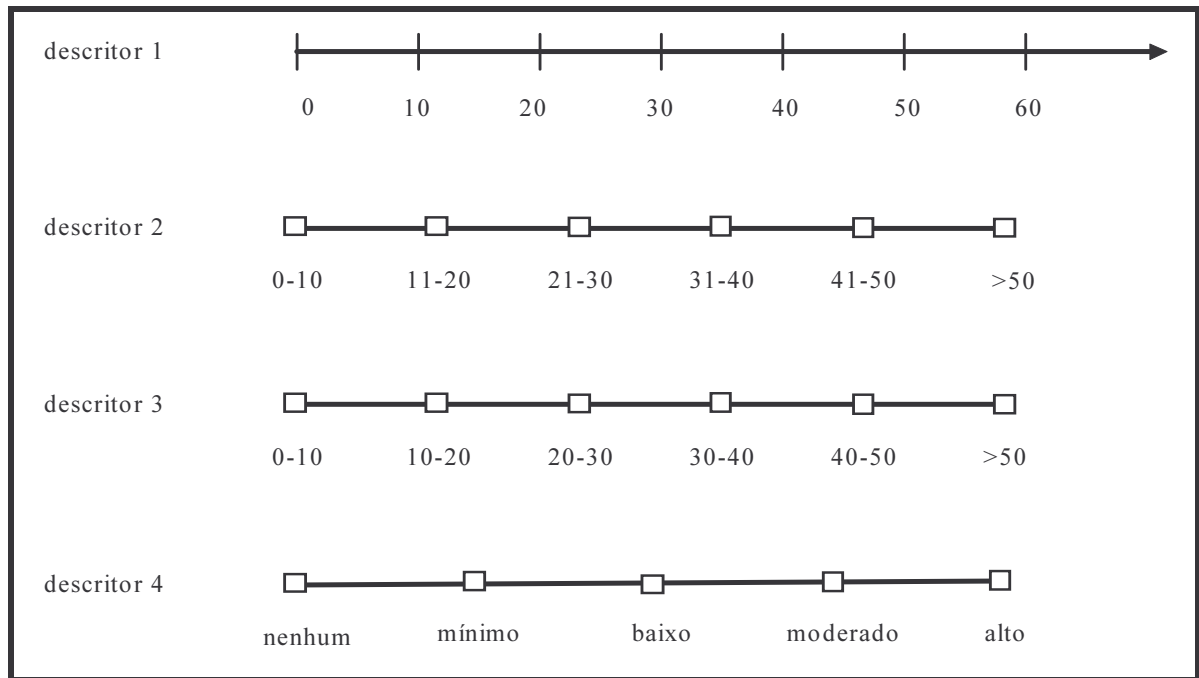


Figura 7. Quatro Tipos de Descritores (Adaptado de Keeney, 1992).

O descritor 3 apresenta as mesmas falhas que o descritor 2, com o agravante de que os limiares dos níveis de impacto são repetidos. Construído desta forma, alguém poderia perguntar-se “Qual nível de impacto deve ser escolhido quando o número de alunos é 10? 0-10 ou 10-20?” Por fim, o descritor 4 carrega uma dose forte de ambigüidade, embora seja freqüentemente usado na prática. O número 17 de alunos é “mínimo”, “baixo”, “moderado” ou “alto”? Este descritor torna-se, portanto, extremamente dependente do julgamento de cada pessoa sobre o ponto de vista em questão.

Logo, visando aumentar o entendimento de descritores quantitativos, deve-se construí-los sempre que possível segundo o formato do descritor 1.

5. ELABORAÇÃO DE UMA FUNÇÃO DE VALOR

Para a associação dos níveis de impacto gerados nos processos de análise do problema entre decisor e facilitador, necessita-se a elaboração de uma escala de preferência local.

Na construção desta escala, prima-se pela mensuração do impacto de uma ação potencial com relação a um determinado ponto de vista, o que definirá um indicador de impacto.

Um indicador de impacto I_j do PVF $_j$ pode ser definido como o procedimento operatório que permite associar a cada ação potencial a , pertencente ao conjunto de ações possíveis A , um subconjunto $\wp(N_j)$ de níveis de impacto do descritor N_j , não-vazio e o mais restrito possível, que representam com toda a verossimilhança o impacto real de cada ação, caso elas sejam colocadas em execução. Este subconjunto de níveis de impacto será denotado por $I_j(a)$ e é denominado o impacto da ação a segundo PVF $_j$.

Formalmente tem-se:

$$I_j: A \rightarrow \wp(N_j) \setminus \emptyset: a \rightarrow I_j(a)$$

Conforme a Figura 8, em que o conjunto de ações possíveis A , tem uma ação potencial a , e o PVF $_j$ tem uma escala de preferências locais definidas pelo descritor N_j , definido por um conjunto de níveis de impacto ordenados $N_j = \{N_j^*, \dots, N_{kj}, \dots, N_j^*\}$, com um limite superior N_j^* e um limite inferior N_j^* . Então, existe um *indicador de impacto pontual* I_j , se o impacto da ação a segundo j , $I_j(a)$ é constituído de apenas um nível de impacto N_{kj} do descritor N_j , ou seja, $I_j(a) = \{N_{kj}\}$. Neste caso não existe indeterminação dos atores na definição de um, e somente um, nível de impacto N_{kj} , portanto este é um indicador de impacto determinístico (Bana e Costa (1993)).

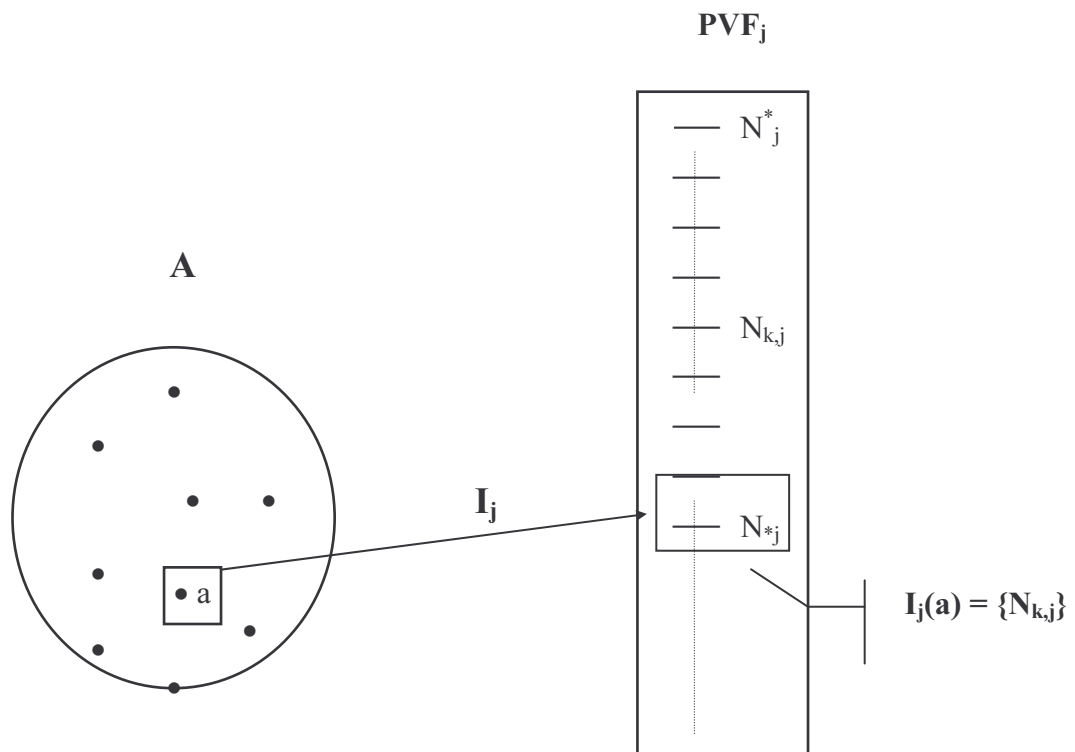


Figura 8. Indicador de impacto pontual (Roy, 1985).

Indicadores de impacto são *não pontuais*, quando criados a partir da hesitação por parte dos atores, na determinação de um nível de impacto que melhor descreva o impacto de uma dada ação, segundo contemplação individual de aspectos de natureza subjetiva. Bana e Costa (1993), afirma que estes indicadores acabam determinando dois níveis de impacto consecutivos como os mais prováveis.

Na metodologia multicritério a avaliação de uma ação, é realizada segundo vários pontos de vista, sendo necessário a determinação dos indicadores de impactos de uma determinada ação a , sobre cada ponto de vista fundamental considerado.

A Figura 9 apresenta para uma família de PVF = $PVF_1, \dots, PVF_j, \dots, PVF_n$, genérica, representativa da avaliação de uma ação a e seus respectivos indicadores de impacto $I_1, \dots, I_j, \dots, I_n$ (puntuais). Então o impacto da ação a segundo o PVF r vale $I_r = \{N_{r,k}\}$, com $r = 1, \dots, j, \dots, n$.

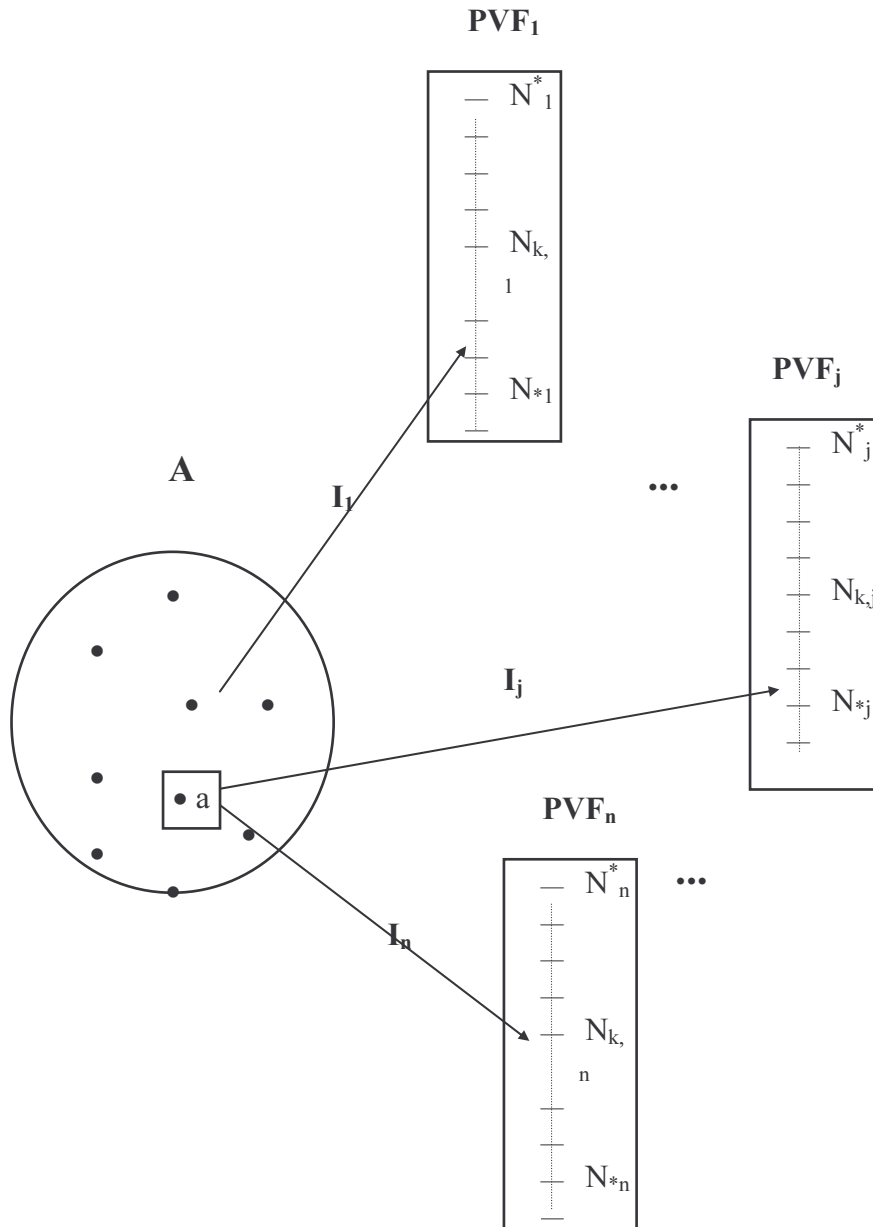


Figura. 9. Indicadores de impacto da ação a segundo uma família de PVF's (Bana e Costa, 1993)

Considerado isto, dado um conjunto de ações fictícias $\{a_0, a_1, a_2, \dots, a_m\}$, estas terão seus perfis de impacto, segundo os n pontos de vista fundamentais, determinadas pelas componentes:

$$a_m = \{ I_1(N_r), I_2(N_r), \dots, I_n(N_r) \}$$

Definido o nível de impacto de cada alternativa segundo cada critério abordado, necessita-se a construção de uma escala que relacione estes valores, afim de que sejam determinados numa primeira etapa, os juízos de valor semânticos dos decisores e a partir daí, sua escala cardinal local de valor dos vários níveis.

A forma de construção, classificação e seleção da escala a ser adota no modelo de avaliação, pode ser mais bem compreendida tendo por base a fundamentação matemática proposta na teoria da mensuração.

6. TEORIA DA MENSURAÇÃO

Para os estudos realizados neste trabalho é imprescindível que se compreenda o significado do termo *mensuração* e como ela é feita.

6.1 INTRODUÇÃO

Quando existe “algo” a ser mensurado, da mesma forma, há também uma conexão entre esse “algo” e algum *elemento empírico*, seja ele abstrato ou concreto. Dessa forma, pode-se tomar como exemplo uma caneta esferográfica, sendo o elemento em questão, detentor de algumas *propriedades* como a cor da tinta, o diâmetro da esfera, massa, etc. Essas

propriedades podem apresentar diferentes *manifestações*. Ou seja, a propriedade *cor* pode apresentar manifestações como *vermelho, azul, preto, etc.*

Quando se faz a mensuração de uma determinada propriedade de um elemento, ignoram-se todas as outras. Então no caso da caneta esferográfica, sendo a *cor* a propriedade mensurada, as demais são negligenciadas (diâmetro da esfera, massa, etc).

Às vezes, dois ou mais elementos, apesar de serem de diferentes naturezas, podem ser considerados equivalentes em relação a uma determinada propriedade se esta for comum aos elementos. Como exemplo, no caso da *caneta esferográfica* e da *luz* existe uma propriedade comum, a *cor*.

O leitor interessado numa discussão adicional do exposto até aqui sobre problemas referentes à mensuração, pode encontrar em Torgerson (1958, capítulos 1 e 2) e Adams (1965).

Existem dois estágios diferentes em que a mensuração de uma certa propriedade de um elemento pode ser realizada: o pré-científico e o científico.

Em se tratando de propriedades, num estágio pré-científico, apenas conceitos classificatórios são usados, não sendo necessário usar números para uma representação isomórfica dessa estrutura, pois palavras são plenamente suficientes para o propósito. Porém, ocorre que em diferentes culturas existem diferentes formas de classificar as mesmas propriedades. Pode-se notar que é importante e necessário descrever a estrutura de uma propriedade de uma forma mais precisa e sistemática do que se obtém com a linguagem.

É com esse propósito que a *Teoria da Mensuração* existe, buscando uma escala universalmente aceita para a mensuração de propriedades, por exemplo, no caso da *caneta esferográfica*, considerando que a propriedade mensurada seja o *comprimento*, será usada uma escala do tipo *métrica*.

Nos tópicos a seguir, abordam-se matematicamente os conceitos da *Teoria da Mensuração*, fornecendo uma base de conhecimento para que se possa compreender melhor a escolha da escala mais adequada.

Os objetos de estudos da Teoria da Mensuração são as propriedades dos elementos, que podem ser abstratos ou concretos. Por exemplo:

- Elemento: caneta esferográfica
- Propriedades: cor da tinta, diâmetro da esfera, massa etc.

As propriedades de um elemento podem apresentar diferentes manifestações. Por exemplo:

- Elemento: caneta esferográfica
- Propriedade: cor
- Manifestações: vermelho, azul, verde etc.

Na mensuração de uma determinada propriedade de um elemento, negligencia-se todas as outras. Por exemplo:

- Elemento: caneta esferográfica
- Propriedade mensurada: cor
- Propriedades negligenciadas: diâmetro da esfera, massa etc.

Dois ou mais elementos, que podem ser de naturezas diferentes, são considerados equivalentes em relação a uma determinada propriedade, se essa propriedade for comum aos elementos. Por exemplo:

- Elementos: caneta esferográfica e luz.
- Propriedade comum: cor

A mensuração de uma determinada propriedade de um elemento em estudo pode ser feita num estágio pré-científico ou num estágio científico. No estágio **pré-científico** a mensuração ocorre numa linguagem que depende da cultura local. Por exemplo, para uma

certa cultura a distância pode ser medida pelo tempo de caminhada, no entanto, para outra cultura, a medida pode ser dada pelo número de passadas. Enquanto, que no estágio **científico** a mensuração é numa escala que seja universalmente aceita.

No entanto, na Teoria da Mensuração a mensuração de uma determinada propriedade de um elemento é no estágio **científico**. Por exemplo:

- Elemento: caneta esferográfica
- Propriedade mensurada: comprimento
- Escala: métrica

6.2 SISTEMAS RELACIONAIS

6.2.1 Definição: Um par ordenado é um elemento indicado por (x, y) , onde x e y são dois elementos quaisquer de um conjunto A .

Em geral, uma p -upla ordenada é indicada por (x_1, x_2, \dots, x_p) , onde x_1, x_2, \dots, x_p são elementos quaisquer de um conjunto A

6.2.2 Definição: Sejam A e B dois conjuntos não vazios. O produto cartesiano de A por B , denotado por $A \times B$, é o conjunto de todos os pares (x, y) tais que x pertence a A e y pertence a B . Simbolicamente, escreve-se:

$$A \times B = \{ (x, y) \mid x \in A \text{ e } y \in B \}$$

6.2.3 Definição: Sejam A_1, A_2, \dots, A_p , um número finito de conjuntos não vazios. O produto cartesiano de A_1 por A_2 por $A_3 \dots A_{p-1}$ por A_p é o conjunto de todas as p -uplas (x_1, x_2, \dots, x_p) tais que $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2, \dots, x_p \in A_p$. Simbolicamente, escreve-se:

$$A_1 \times A_2 \times \dots \times A_p = \{ (x_1, x_2, \dots, x_p) \mid x_1 \in A_1, x_2 \in A_2, \dots, x_p \in A_p \}.$$

Na definição acima, se $A_1 = A_2 = \dots = A_p = A$, o produto cartesiano $A \times A \times \dots \times A$, com p fatores, é denominado de potência cartesiana de A e indica-se por A^p . Assim:

$$A^p = \{ (x_1, x_2, \dots, x_p) \mid x_1, x_2, \dots, x_p \in A \}$$

6.2.4 Definição: Seja A um conjunto não vazio. Uma relação binária em A , denotada por R , é qualquer subconjunto do produto cartesiano de A por A , isto é, $R \subset A \times A$. Simbolicamente, escreve-se:

$$R = \{ (x, y) \mid x, y \in A \}.$$

Se $(x, y) \in R$, escreve-se $x R y$.

6.2.5 Definição: Seja A um conjunto não vazio. Uma p -upla relação em A , também denotada por R é qualquer subconjunto da potência cartesiana A^p . Isto é, $R \subset A^p$. Simbolicamente, escreve-se:

$$R = \{ (x_1, x_2, \dots, x_p) \in A^p \}$$

6.2.6 Definição: Seja A um conjunto não vazio. Uma relação binária R em A é uma relação de equivalência se ela for:

- i-) Reflexiva, isto é, se $\forall x \in A$, tivermos que $x R x$;
- ii-) Simétrica, isto é, se $\forall x, y \in A$, com $x R y$ tivermos que $y R x$; e
- iii-) Transitiva, isto é, se $\forall x, y, z \in A$ com $x R y$ e $y R z$ tivermos que $x R z$.

6.2.7 Definição: Sejam R_1, R_2, \dots, R_n um número finito de relações definidas em um conjunto não vazio A . Um sistema relacional é o conjunto cujos elementos são os conjuntos A, R_1, R_2, \dots, R_n , o qual denota-se por $\langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$, ou simplesmente por **A**.

Simbolicamente, escreve-se:

$$\{ A, R_1, R_2, \dots, R_n \} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle,$$

ou

$$\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle.$$

Pode-se ainda, indicar o sistema relacional $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ por $\langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$, tal que $I = \{1, \dots, n\}$, isto é,

$$\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle,$$

tal que $I = \{1, \dots, n\}$.

6.2.8 Definição: Uma *p-upla* relação R em um conjunto A é um subconjunto da potência cartesiana A^p , isto é, $R \subset A^p$. Simbolicamente, escreve-se:

$$R = \{ (x_1, x_2, \dots, x_p) \mid x_1, x_2, \dots, x_p \in A \}.$$

6.2.9 Definição: Sejam R_1, R_2, \dots, R_n um número finito de *p-uplas* relações definidas em um conjunto não vazio A . Um sistema relacional é o conjunto cujos elementos são os conjuntos A, R_1, R_2, \dots, R_n , o qual denota-se por $\langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$, ou simplesmente por \mathbf{A} . Simbolicamente, escreve-se:

$$\{ A, R_1, R_2, \dots, R_n \} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle,$$

ou

$$\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle.$$

Se o conjunto A consiste de objetos empíricos e as relações R_i em A são empiricamente determinadas, $\langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ será chamado um sistema relacional empírico.

6.2.10 Definição: Seja $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ um sistema relacional e seja A_o um subconjunto de A . O sistema relacional $\langle A_o; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ é uma restrição do sistema relacional \mathbf{A} .

6.2.11 Definição: Seja A um conjunto não vazio. Uma relação binária R em A é uma relação de equivalência se ela for:

- i-) Reflexiva, isto é, se $\forall x \in A$, tivermos que $x R x$;
- ii-) Simétrica, isto é, se $\forall x, y \in A$, com $x R y$ tivermos que $y R x$; e
- iii-) Transitiva, isto é, se $\forall x, y, z \in A$ com $x R y$ e $y R z$ tivermos que $x R z$.

6.2.12 Definição: Seja A um conjunto não vazio e R uma relação binária em A . A classe de equivalência de um elemento $a \in A$, denotada por \overline{a} , é o conjunto de todos os $x \in A$ tal que $x R a$. Simbolicamente, escreve-se:

$$\overline{a} = \{ x \in A \mid x R a \}$$

6.2.13 Definição: Seja A um conjunto não vazio. Uma operação \circ em A , denotada por $\circ: A \rightarrow A$, é uma relação R que a cada p -upla (x_1, x_2, \dots, x_p) de elementos de A associa um único elemento $x_1 \circ x_2 \circ \dots \circ x_p$ de A . Indica-se por:

$$R(x_1, x_2, \dots, x_p) = x_1 \circ x_2 \circ \dots \circ x_p$$

6.2.14 Definição: Um sistema relacional $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ é uma álgebra se todas as relações R_1, R_2, \dots, R_n são operações. Se $A = \mathfrak{R}^k$, onde \mathfrak{R} é o conjunto dos números reais, o sistema relacional é um sistema relacional numérico.

6.2.15 Teorema: Seja R uma relação de equivalência em um conjunto A . Se $a, b \in A$, então:

$$ii-) \overline{a} \cap \overline{b} = \emptyset \text{ ou } a = b.$$

Seja R uma relação de equivalência num conjunto não vazio A e sejam a e b dois elementos quaisquer de A ($a, b \in A$).

$$(P_1) \overline{a} = \overline{b} \text{ se e somente se } aRb.$$

Demonstração:

i-) Suponha que aRb . Pode-se provar que $\overline{a} = \overline{b}$. Com efeito, seja $x \in A$ um elemento qualquer de \overline{a} , isto é, xRa . Então, por ser R transitiva, subsiste a implicação:

$$xRa \text{ e } aRb \Rightarrow xRb$$

$$\text{Ora, } xRb \text{ significa que } x \in \overline{b}. \text{ Logo, } \overline{a} \subset \overline{b} \quad (1)$$

Seja, agora, $y \in A$ um elemento qualquer de \overline{b} , isto é, yRb . Como R é simétrica, aRb implica bRa e, portanto, por ser R transitiva, subsiste a implicação:

$$yRb \text{ e } bRa \Rightarrow yRa$$

$$\text{Ora, } yRa \text{ significa que } y \in \overline{a}. \text{ Logo, } \overline{b} \subset \overline{a} \quad (2)$$

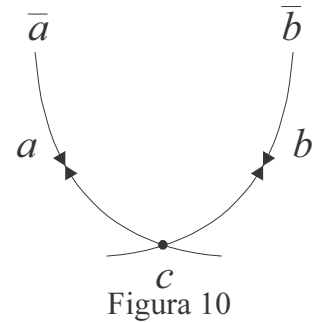
De (1) e (2), pela anti-simetria da inclusão, resulta que $\overline{a} = \overline{b}$.

ii-) Suponha agora, que $\bar{a} = \bar{b}$. Pode-se provar que aRb . Com efeito, $b \in \bar{b}$ e, portanto, $b \in \bar{a}$, isto é, bRa , e como R é simétrica, bRa implica aRb .

(P₂) Se $\bar{a} \cap \bar{b} \neq \emptyset$, então $\bar{a} = \bar{b}$.

Demonstração:

Com efeito, se \bar{a} e \bar{b} não são disjuntas, como mostra a Figura 11, existe ao menos um elemento, $c \in A$ tal que $c \in \bar{a}$ e $c \in \bar{b}$, isto é, tal que cRa e cRb , ou seja, por ser R simétrica, tal



que aRc e cRb . E como R é transitiva, subsiste a implicação:

$$aRc \text{ e } cRb \Rightarrow aRb$$

Logo, pela propriedade P₁, tem-se $\bar{a} = \bar{b}$.

Conclusão: Duas classes de equivalência que não são disjuntas coincidem, ou seja, duas classes de equivalência distintas são disjuntas:

$$\bar{a} \neq \bar{b} \Rightarrow \bar{a} \cap \bar{b} = \emptyset.$$

Assim, todo elemento de A pertence a uma única classe de equivalência. Portanto, escolhendo-se em cada classe de equivalência um único elemento, o conjunto J ($J \subset A$) que se obtém é um conjunto de representantes das classes de equivalência segundo R .

6.2.16 Definição: Um sistema relacional $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ é uma álgebra se todas as relações R_1, R_2, \dots, R_n são operações. Se $A = \mathfrak{R}^k$, onde \mathfrak{R} é o conjunto dos números reais, o

sistema relacional é um sistema relacional numérico.

6.2.17 Definição: Uma relação de equivalência \approx em A é uma relação de congruência para o sistema relacional $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$, se para todos $(a_1, \dots, a_k) \in A^k$, $(a'_1, \dots, a'_k) \in A^k$ com $a_j \approx a'_j$, $j = 1, \dots, k$, implicar que $R_i(a_1, \dots, a_k) = R_i(a'_1, \dots, a'_k)$ para todo $i = 1, \dots, n$.

6.2.18 Definição: Uma relação de equivalência \approx_1 é um refinamento de uma relação de equivalência \approx_2 , se $\approx_1 \subset \approx_2$ ou, equivalentemente, se para $a \approx_1 b$ implicar $a \approx_2 b$.

6.2.19 Teorema: Se \approx é uma relação de equivalência no sistema relacional $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$, então existe uma única relação de congruência \approx_1 que é um refinamento da relação \approx .

6.2.20 Definição: Seja \approx uma relação de congruência do sistema relacional $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$. O sistema relacional $\mathbf{A} / \approx = \langle \bar{a}; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$, onde $\bar{a} = \{x \in A \mid x \approx a\}$, é chamado de sistema relacional quociente módulo \approx .

6.2.21 Definição: Um sistema relacional $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ é irredutível se a relação \approx em \mathbf{A} é uma relação de igualdade.

6.2.22 Teorema: Se \approx é uma relação de igualdade para o sistema $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ então o sistema relacional $\mathbf{A} / \approx = \langle \bar{a}; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ é irredutível.

O sistema relacional referenciado na metodologia multicritério, proposta por Bana e Costa, o Teorema 6.2.21, é chamado de sistema relacional irredutível correspondente ao sistema relacional $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$.

6.2.23 Definição: Sejam A e B dois conjuntos não vazios. Um mapeamento de A em B é uma relação m que associa a cada elemento x em A um único elemento y em B . Simbolicamente escreve-se:

$$m : A \rightarrow B.$$

O elemento y é chamado de **valor** da relação m em x , ou a imagem de x por meio de m , o qual denota-se por $y = m(x)$. O conjunto A é chamado de **domínio** do mapeamento (relação) m e o conjunto B **contradomínio**.

Seja A' um subconjunto de A ($A' \subset A$), o conjunto

$$m(A') = \{ y \in B \mid y = m(x) \text{ para algum } x \in A' \}$$

é chamado de imagem do conjunto A' e representado tabularmente por meio do mapeamento.

Seja A um conjunto com um número finito de elementos:

$$A = \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}.$$

O mapeamento $m : A \rightarrow B$ é representado por meio da Tabela 2

A	B
x_1	$y_1 = m(x_1)$
x_2	$y_2 = m(x_2)$
\cdot	\cdot
\cdot	\cdot
\cdot	\cdot
x_n	$y_n = m(x_n)$

Tabela 2. Mapeamento de um conjunto.

6.2.24 Definição: Seja m um mapeamento de A em B , $m : A \rightarrow B$. Diz-se que:

- i-*) o mapeamento é injetivo, se para todos $x_1, x_2 \in A$, com $x_1 \neq x_2$, tem-se que $m(x_1) \neq m(x_2)$, ou equivalentemente se $m(x_1) = m(x_2)$ implicar que $x_1 = x_2$;
- ii-*) o mapeamento é sobrejetivo, se $m(A) = B$, isto é, se para todo $y \in B$ existe um $x \in A$ tal que $y = m(x)$; e
- iii-*) o mapeamento é bijetivo, se ele é injetivo e sobrejetivo.

Um mapeamento bijetivo é indicado de 1 – 1 (lê-se: de um para um).

6.2.25 Definição: Sejam $m: A \rightarrow B$ um mapeamento e B' um subconjunto de B ($B' \subset B$). O conjunto

$$m^{-1}(B') = \{ x \in A \mid \exists y \in B \text{ com } y = m(x) \}$$

é chamado de imagem inversa de B por meio de m .

6.2.26 Definição: Sejam $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ e $\mathbf{B} = \langle B; S_1, S_2, \dots, S_n \rangle$ dois sistemas relacionais do mesmo tipo. O mapeamento de A em B ($m: A \rightarrow B$), é um homomorfismo de \mathbf{A} em \mathbf{B} , se para todas as p -uplas $(a_1, \dots, a_p) \in A^p$, tem-se

$$R_i(a_1, \dots, a_p) = S_i(m(a_1), \dots, m(a_p)),$$

para todo $i = 1, \dots, n$.

6.2.27 Definição: Sejam $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ e $\mathbf{B} = \langle B; S_1, S_2, \dots, S_n \rangle$ dois sistemas relacionais do mesmo tipo. Um mapeamento de $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ em $\mathbf{B} = \langle B; S_1, S_2, \dots, S_n \rangle$. O mapeamento $m: A \rightarrow B$ é um isomorfismo, se:

- i-) m é um homomorfismo; e
- ii-) m é bijetiva, isto é, de 1 – 1.

6.2.28 Definição: Seja $m: A \rightarrow B$ um mapeamento bijetivo. O mapeamento $m^{-1}: B \rightarrow A$, é chamado de mapeamento inverso de m .

6.2.29 Definição: Seja $\mathbf{A} = \langle A; R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ um sistema relacional. O mapeamento $m: A \rightarrow A$ é um automorfismo em \mathbf{A} , se m é um isomorfismo de \mathbf{A} em \mathbf{A} .

6.2.30 Definição: Sejam A, B e C conjuntos, n um mapeamento de A em B e m um mapeamento de B em C . O mapeamento $n \circ m$ de A em C , definido por $n \circ m(x) = n(m(x))$ é o mapeamento composto dos mapeamentos m e n .

6.2.31 Teorema: Sejam \mathbf{A} , \mathbf{B} e \mathbf{C} sistemas relacionais. Se m é um homomorfismo (isomorfismo) de \mathbf{A} dentro de \mathbf{B} , n um homomorfismo (isomorfismo) de \mathbf{B} dentro de \mathbf{C} , então $n \circ m$ é um homomorfismo (isomorfismo) de \mathbf{A} em \mathbf{C} . Se ambos m e n , são isomorfismos, $n \circ m$ é um isomorfismo.

6.2.32 Definição: Seja A um conjunto não vazio e $*$ uma operação definida em A . O conjunto A é um grupo em relação a uma operação $*$, se:

- i-) para todos $x, y, z \in A$ tem-se que $(x * y) * z = x * (y * z)$ (Associatividade);
- ii-) se existe $0 \in A$, tal que $x * 0 = 0 * x = x$ para todo $x \in A$ (Elemento Neutro); e
- iii-) para todo $x \in A$, existe $x' \in A$ tal que $x * x' = x' * x = x$ (Elemento inverso).

6.2.33 Corolário: Se $\Gamma_{\mathbf{A}}$ é o conjunto de todos os automorfismos de um sistema relacional \mathbf{A} , então $\Gamma_{\mathbf{A}}$ é um grupo em relação à operação composição \circ .

6.2.34 Teorema: Se $\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ e $\mathbf{B} = \langle B; (S_i)_{i \in I} \rangle$ são sistemas relacionais e m um homomorfismo de \mathbf{A} em \mathbf{B} , então a relação binária \approx definida por $a \approx a'$ se e somente se $m(a) = m(a')$ é uma relação de congruência em \mathbf{A} , que é dita relação de congruência induzida por m .

6.2.35 Teorema: Sejam $\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional, B um conjunto qualquer e m um mapeamento de A em B . Se a relação binária \approx em A , definida no Teorema 6.2.33, é uma relação de congruência, então existe uma única relação $S_i (i \in I)$ em B definida por $(m_{(k_i)} (A^{k_i}))$, tal que m é um homomorfismo de \mathbf{A} no sistema relacional $\mathbf{B} = \langle B; (S_i)_{i \in I} \rangle$, onde $S_i := m_{(k_i)} (R_i)$.

6.2.36 Teorema: Seja $\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional e \approx uma relação de congruência em \mathbf{A} . Então:

i-) O mapeamento $h: a \rightarrow \tilde{a}$ é um homomorfismo de \mathbf{A} sobre o sistema relacional quociente $\mathbf{A}_1 = \mathbf{A}/\approx$.

ii-) Se a relação \approx_1 é uma relação de congruência em \mathbf{A}_1 , então o sistema relacional quociente \mathbf{A}_1/\approx_1 é isomórfico ao sistema relacional quociente \mathbf{A}/\approx_0 , onde $\approx_0 = h^{-1}(\approx_1)$ ou, equivalentemente, $a \approx_0 b$ se e somente se $\tilde{a} \approx_1 \tilde{b}'$.

6.2.37 Corolário: Seja \mathbf{A} um sistema relacional irredutível. Se m é um homomorfismo de \mathbf{A} em um sistema relacional \mathbf{B} , então m é um mapeamento 1 – 1 (de um para um), isto é, mapeamento injetivo.

6.2.38 Definição: Sejam $\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional, $\mathbf{A}_0 \subset \mathbf{A}$ e $\Gamma_{\mathbf{A}}(A_0)$ o conjunto formado por todos os homomorfismos 1 – 1 de $\langle A_0; (R_i)_{i \in I} \rangle$ em \mathbf{A} . Os elementos de $\Gamma_{\mathbf{A}}(A_0)$ são chamados de *endomorfismos parciais* de \mathbf{A} .

6.2.39 Teorema: Sejam $\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional irredutível, $\mathbf{B} = \langle B; (S_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional arbitrário do mesmo tipo que \mathbf{A} e M o conjunto de todos os homomorfismos de \mathbf{A} em \mathbf{B} . Se m_0 é um elemento qualquer de M , então todos os elementos do conjunto $M = \{\gamma \circ m_0 : \gamma \in \Gamma_{\mathbf{B}}(m_0(A))\}$ é um mapeamento 1 – 1.

6.3 DEFINIÇÃO DE ESCALAS

6.3.1 Definição: Seja $\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional empírico e $\mathbf{B} = \langle \mathfrak{N}^k; (S_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional numérico. Uma escala k -dimensional é um homomorfismo do sistema relacional \mathbf{A} ao sistema relacional \mathbf{B} .

Deve-se usar o conceito mais geral de "homomorfismo dentro de" (ao invés de "sobre"), porque a imagem $m(A)$ dependerá de m em geral.

As imagens dos elementos de A sob este homomorfismo ocasionalmente serão referidas como "valores de escala". Como o mapa é um homomorfismo, nós podemos traçar conclusões de relações numéricas entre os valores de escala para relações empíricas entre objetos empíricos: Os objetos a_1, \dots, a_{k_i} estão na relação R_i se e somente se os valores de escala correspondentes $m(a_1), \dots, m(a_{k_i})$, estão na relação S_i . Obviamente, é necessário requisitar "se e somente se"; requisitar somente "se" significaria que $R_i(a_1, \dots, a_{k_i})$ poderia valer, que este fato poderia não, entretanto, ser reconhecido dos valores de escala $m(a_1), \dots, m(a_{k_i})$.

As regras tradicionais levadas em conta na definição de uma escala, fazem com que essas expressem o máximo possível sobre a realidade. Como se quer que as escalas tragam o máximo de informação possível, requisita-se que ao mapear-se A dentro de \mathfrak{R}^k todas as relações empíricas conhecidas devem ser levadas em conta. Seria um desperdício de informação construir uma escala que é um homomorfismo com respeito a uma relação de ordem e negligenciar, dizer, uma relação aditiva, se essa pode ser empiricamente definida.

As relações S_i ($i \in I$) usadas na definição de escala correspondem a relações empíricas. Dado um s. r. e. arbitrário $\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ existe um único s. r. e. irredutível $\tilde{\mathbf{A}} = \langle \tilde{A}; (\tilde{R}_i)_{i \in I} \rangle$ correspondente a \mathbf{A} (ver 6.3.8 e a interpretação de $\tilde{\mathbf{A}}$ em 6.3). Se m é uma escala mapeando $\tilde{\mathbf{A}}$ dentro de um sistema relacional numérico \mathbf{B} , o mapa $\tilde{m}: a \rightarrow \tilde{a} \rightarrow m(\tilde{a})$ é um homomorfismo de \mathbf{A} dentro de \mathbf{B} porque $a \rightarrow \tilde{a}$ é um homomorfismo de acordo com 6.3.9. Sempre que a palavra "escala" é usada em conexão com um s. r. e. não-irredutível, entende-se tal como um mapa \tilde{m} induzido por uma escala \tilde{m} do s. r. e. irredutível correspondente.

6.4 UNICIDADE DE ESCALAS

Seja $\mathbf{A} = \langle A; (R_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional empírico e $\mathbf{B} = \langle \mathfrak{R}^k, (S_i)_{i \in I} \rangle$ um sistema relacional numérico. O conjunto de todas as escalas m do sistema relacional \mathbf{A} no sistema relacional \mathbf{B} , é indicado por $M(\mathbf{A}, \mathbf{B})$ ou, simplesmente por M . As escalas pertencentes a M , são chamadas de equívalentes.

Pelo requisito de homomorfismo, o mapa $A \rightarrow \mathfrak{R}^k$ não é unicamente determinado. Em geral, uma classe inteira de escalas existe, mapeando um dado s. r. e. irreduzível \mathbf{A} homomorficamente dentro de um dado s. r. n. \mathbf{B} . Esta classe de escalas será denotada por $M(\mathbf{A}, \mathbf{B})$ ou, em resumo por M , se nenhuma ambigüidade surge. Ocasionalmente as escalas pertencendo a M serão chamadas *equivalentes* e a própria M será referida como a "classe de escalas equivalentes". Como não existe nenhum critério para selecionar uma escala única fora desta escala como a escala, deve-se encarar o fato que sempre que estiver se falando sobre escalas, será sobre classes de escalas de equivalência.

Dada uma escala m_0 pertencendo à $M(\mathbf{A}, \mathbf{B})$ pode-se caracterizar a classe inteira $M(\mathbf{A}, \mathbf{B})$ de escalas por propriedades interiores de \mathbf{B} , nomeadamente por endomorfismos parciais de \mathbf{B} . De acordo com o teorema 6.2.12, $M(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \{\gamma \circ m_0 : \gamma \in \Gamma_{\mathbf{B}}(m_0(A))\}$.

Isto mostra que duas escalas são equivalentes se e somente se existe um endomorfismo parcial do s. r. transformando uma escala dentro da outra. Os elementos do conjunto $\Gamma_{\mathbf{B}}(m_0(A))$ de endomorfismos parciais serão chamados de transformações "admissíveis" da escala m_0 , porque eles tomam m_0 dentro de escalas equivalentes. Transformações não-admissíveis conduzem a mapas que falham para ser homomorfismos de \mathbf{A} dentro de \mathbf{B} , e que portanto, não são escalas no sentido acima definido.

Existe uma segunda imprecisão na escala que é de uma natureza completamente diferente. Esta impressão é devido ao fato que o próprio sistema relacional numérico não é unicamente determinado. Podem existir diferentes sistemas relacionais numéricos dentro dos quais um dado s. r. e. pode ser mapeado homomorficamente. De acordo com o exemplo que segue a definição 6.2.2, os s. r. n. $\langle \mathfrak{R}; <, + \rangle$ e $\langle \mathfrak{R}^+; <, \cdot \rangle$ são isomórficos. Então, se um e. r. s. $\langle A; R_1; R_2 \rangle$ pode ser mapeado homomorficamente dentro de $\langle \mathfrak{R}; <, + \rangle$, ele pode também ser mapeado homomorficamente dentro de $\langle \mathfrak{R}^+; <, \cdot \rangle$. Qual dentre esses dois s. r. n. é selecionado

para definição da escala é meramente um assunto de conveniência. Se, por exemplo, os dois s. r. n. $\langle \mathfrak{R}; <, + \rangle$ e $\langle \mathfrak{R}^+; <, \cdot \rangle$ estão em questão, alguém praticamente preferira o primeiro, como adição é mais elementar do que multiplicação.

6.5 TIPOS DE ESCALAS

Para a operacionalização dos descritores, necessita-se a adoção de um tipo de escala que venha a representar com a maior precisão possível, as preferências do decisor. Constituem-se como tipos de escalas as nominais, ordinais, intervalos, razão e cardinal.

6.5.1 Escalas Nominais ou Classificatórias

Uma escala é dita nominal ou classificadora, quando números ou outros símbolos são usados para identificar os grupos a que vários objetos pertencem. Neste tipo de escala, a operação de escalonamento consiste em efetuar uma partição de determinada classe em um conjunto de subclasses mutuamente exclusivas.

6.5.1.1 Definição: Seja $\mathbf{A} = \langle A; = \rangle$ um sistema relacional empírico e $\mathbf{B} = \langle \mathfrak{R}; = \rangle$, onde \tilde{A} é o conjunto das classes de equivalência de $\langle A; \approx \rangle$, sendo \approx uma relação de equivalência. Uma escala nominal é um mapeamento 1 – 1 de \mathbf{A} em \mathbf{B} .

O sistema relacional e. mais simples é $\langle A; \approx \rangle$, baseado na relação de equivalência \approx . A própria relação de equivalência é a relação de congruência mais *grosseira*; o s. r. irreduzível correspondente é $\langle A; = \rangle$, onde \tilde{A} é o conjunto de classes de equivalência de $\langle A; \approx \rangle$. Uma escala numérica mapeando $\langle A; = \rangle$ dentro de $\langle \mathfrak{R}; = \rangle$ (ou de forma mais generalizada $\langle \mathfrak{R}^k; = \rangle$) existe se e somente se o domínio do conjunto \tilde{A} é no máximo igual ao do continuum. Se uma escala existe, ela dá somente informação se dois elementos $\tilde{a}_1, \tilde{a}_2 \in \tilde{A}$ são iguais ou não,

ou, considerando a escala induzida de A (ver seção 6.3), se dois elementos $a_1, a_2 \in A$ são equivalentes ou não.

Como uma escala nominal dá apenas um mínimo de informação, existirá um grande número de escalas que farão: dada uma escala nominal m_0 , a escala $\gamma \circ m_0$ é uma escala nominal novamente para qualquer mapa γ (1 – 1) de $m_0(A)$ dentro de \mathfrak{R} (ver seção 6.3.12).

6.5.2 Escalas Ordinais

A escala é dita ordinal ou por postos, quando os elementos em uma categoria, de dada escala, não sejam apenas diferentes dos elementos em outras categorias da mesma escala, mas que guardem certo tipo de relação com eles. Tais relações podem ser indicadas pelo símbolo $>$ que, de modo geral, significa “maior do que”. Em relação a escalas particulares, $>$ pode ser utilizado para indicar “preferível a”, “mais alto do que”, “mais difícil do que”, etc. Seu significado específico depende da natureza da relação que define a escala.

Definição: Sejam $\mathbf{A} = \langle A; < \rangle$ e $\mathbf{B} = \langle \mathfrak{R}; < \rangle$, sistemas relacionais onde, $<$ é uma relação de ordem. Uma escala $m : A \rightarrow \mathfrak{R}$ é uma *escala ordinal* se e somente se é única e monotonamente crescente formando mapas contínuos de $m(A)$ em \mathfrak{R} .

$$\text{a) } \forall a_1, a_2 \in A : \text{ou } a_1 = a_2 \text{ ou } a_1 < a_2 \text{ ou } a_2 < a_1,$$

b) $\forall a_1, a_2, a_3 \in A : a_1 < a_2 \text{ e } a_2 < a_3 \Rightarrow a_1 < a_3$ onde empírico e $\mathbf{B} = \langle \mathfrak{R}; = \rangle$, onde \tilde{A} é o conjunto das classes de equivalência de $\langle A; \approx \rangle$, sendo \approx uma relação de equivalência. Uma escala nominal é um mapeamento 1 – 1 de \mathbf{A} em \mathbf{B} .

Em todos os casos de relevância prática, o s. r. e. \mathbf{A} contém no mínimo uma relação de ordem e equivalência de modo que o s. r. irreduzível correspondente é um conjunto ordenado. Para conveniência notacional assuma que o próprio \mathbf{A} é um conjunto ordenado, isto é, $\mathbf{A} = \langle A; < \rangle$ onde $<$ é uma relação binária satisfazendo as seguintes condições:

$$\text{a) } \forall a_1, a_2 \in A : \text{ou } a_1 = a_2 \text{ ou } a_1 < a_2 \text{ ou } a_2 < a_1,$$

b) $\forall a_1, a_2, a_3 \in A : a_1 < a_2 \text{ e } a_2 < a_3 \Rightarrow a_1 < a_3$ (tais s. r. correspondem a “sistemas ordinais” considerados em 3.2).

Especialmente $\mathbf{B} = \langle \mathfrak{R}; < \rangle$, o conjunto dos números reais com sua ordem natural, é um conjunto ordenado. Pode parecer razoável usar o termo "escala ordinal" para um mapa homomórfico (isto é monótono e, portanto $1 - 1$) m de \mathbf{A} dentro de \mathbf{B} , porque a ordem de A é refletida pela ordem de \mathfrak{R} . Mas isto é conseguido apenas de uma maneira incompleta: a topologia sobre A definida pela relação de ordem $<$ não coincidirá com a topologia relativa de $m(A)$ induzida pela topologia natural de \mathfrak{R} (que coincide com sua topologia de ordem). Visto que as ferramentas gerais de "topologia de ordem" não serão tratadas antes das seções 3.4 e 3.5, define a seguir a escala ordinal pela classe de transformações admissíveis a que pertence.

6.5.3. Escala de Intervalos

Ocorre uma escala de intervalos, quando a escala tem todas as características de uma escala ordinal e se conhecem as distâncias entre dois números quaisquer da escala, para que então se obtenha uma mensuração consideravelmente mais forte que a ordinal. Obtém-se, nesse caso, uma mensuração no sentido de uma escala intervalar. Isto é, se a fixação das diversas classes de objetos é tão precisa a ponto de saber-se exatamente quão grandes são os intervalos (distâncias) entre todos os elementos da escala, então se atinge o grau de mensuração por intervalos. Uma escala intervalar é caracterizada por uma unidade constante e comum de mensuração, que atribui um valor real a todos os pares de objetos no conjunto ordenado. Nesse tipo de mensuração, a razão de dois intervalos quaisquer é independente da unidade de mensuração e da origem. Em uma escala intervalar, a origem e a unidade de medida são arbitrárias. A exemplo tem-se as escalas de medida de temperatura (Fahrenheit e Celcius), onde unidade de medida e o ponto zero são arbitrários, todavia, ambas as escalas contêm a mesma quantidade e a mesma natureza de informações.

6.5.4. Escala de Razão

Tal qual a escala de intervalos, mas com um verdadeiro ponto zero como origem. Isto decorre do fato de que a razão de dois pontos quaisquer da escala é independente da unidade de mensuração. A exemplo tem-se a massa de um corpo medida em gramas e/ou libras. A razão entre dois pesos em libras é idêntica à razão dos dois pesos em gramas.

As operações e relações que originam os valores numéricos em uma escala de razões são tais que a escala é isomorfa à estrutura da aritmética. São, portanto, permissíveis às operações da aritmética sobre os valores numéricos atribuídos não só aos próprios objetos, como aos intervalos entre números, tal como no caso da escala intervalar.

6.5.5. Escala Cardinal

Adota-se para a construção de uma escala cardinal de preferências, a noção da diferença de atratividade.

O termo função de valor cardinal representa aquela função de valor que pode ser usada para ordenar as diferenças de intensidade de preferência entre pares de alternativas ou, mais simplesmente, a diferença de preferências entre as alternativas (Dyer e Sarin (1979)).

Bana e Costa e Vasnick (1995) afirmam que procura-se então, a construção de uma escala de intervalos sobre A , a fim de quantificar a idéia de valor das ações. A abordagem descrita no referido trabalho, utiliza-se do conceito de atratividade para medir o valor das ações potenciais.

Segundo os autores, visa-se construir uma função-critério $v_j: A \rightarrow \mathcal{R}: a \rightarrow v_j(a)$, tal que, não só o número real represente numericamente o valor de $a \in A$, em termos de PVF_j , no sentido em que, aos olhos do decisor:

$$\forall a, b \in A, \quad v(a) > v(b) \Leftrightarrow a \text{ mais atrativa que } b \text{ (} a P b \text{),}$$

mas também, que qualquer diferença positiva $v(a) > v(b)$ represente numericamente a *diferença de valor* entre a e b , com $a P b$ sempre em termos de PVF_j , de modo que:

Condição I: $\forall a, b, c, d \in A$ com a mais atrativa que b e c mais atrativa que d , para o avaliador, o quociente $(v(a) - v(b)) / (v(c) - v(d))$ reflete, em termos relativos, a diferença de atratividade que o avaliador sente (de forma mais ou menos precisa) entre a e b tomando como referência a diferença de atratividade entre c e d .

Tal escala verifica, em particular, a propriedade:

$$\forall a, b, c, d \in A \quad v(a) - v(b) > v(c) - v(d)$$

se e só se “a diferença de atratividade entre a e b é maior que a diferença de atratividade entre c e d ”.

Entretanto em todos estes métodos o processo interrogatório apresenta sérios problemas de operacionalidade, uma vez que obriga o avaliador a responder questões muito difíceis, onde deve ser feita a comparação entre diferenças de preferência entre dois pares de ações. Para procurar amenizar estas dificuldades, a metodologia MACBETH (Masuring Atractiveness by a Categorical Based Technique), apresenta uma nova abordagem ao problema da construção de um critério de valor cardinal sobre A , a partir de juízos absolutos de diferença de atratividade.

7. Escala Cardinal Segundo a Abordagem MACBETH

Aqui tratar-se-á de uma escala cardinal de intervalos, segundo a abordagem MACBETH (**M**asuring **A**tractiveness by a **C**ategorical **B**ased **E**valuation **T**echnique). Sua construção é baseada em juízos semânticos sob a diferença de atratividade sentida por um avaliador entre pares de elementos de um conjunto. MACBETH testa a consistência dos juízos expressos, detecta fontes de inconsistência, quando esta existe, facilitando a revisão dos juízos em causa, e propõe uma escala numérica compatível com os juízos absolutos do avaliador.

7.1 A noção de diferença de atratividade como base para a construção de critérios de valor cardinais

Os métodos conhecidos para ajudar a construir uma escala de intervalos sobre um conjunto A , têm o objetivo de quantificar a idéia de valor (propriedade de atratividade) das ações de A segundo um dado ponto de vista fundamental PV_J . O mesmo é dizer que se procura construir uma função-critério $v(\cdot): A \rightarrow \mathbf{R}$: $a \rightarrow v(a)$ tal que, não só o número real $v(a)$ represente numericamente (seja uma medida de) o valor de qualquer ação $a \in A$, em termos de PV_J , no sentido (substantivo) em que:

$$\forall a, b, c, d \in A, v(a) > v(b)$$

se e somente se para o avaliador a é mais atrativa (localmente) que b (aPb), mas também qualquer diferença positiva $v(a) - v(b)$ represente numericamente a diferença de valor entre a e b , com aPb sempre em termos de PV_J , no sentido (substantivo) em que:

Condição I: $\forall a, b, c, d \in A$ com a mais atrativa que b e c mais atrativa que d , para o avaliador, o quociente $(v(a) - v(b))/(v(c) - v(d))$ reflete, em termos relativos, a diferença de atratividade que o avaliador sente (de forma mais ou menos precisa) entre a e b tomando como referência a diferença de atratividade entre c e d .

Uma tal escala v , a qual chama-se critério (de valor) cardinal, satisfaz nomeadamente todas as condições necessárias para definir uma “função de valor mensurável” (measurable value function, (Dyer e Sarin, 1979)), no sentido em que v verifica, em particular, a propriedade:

$$\forall a, b, c, d \in A, v(a) - v(b) > v(c) - v(d)$$

se e só se “a diferença de atratividade entre a e b é maior que a diferença de atratividade entre c e d ”.

Desde há muito que têm sido propostas numerosas vias para construir uma escala cardinal sobre A , em trabalhos teóricos e práticos nos domínios da matemática, da economia, das ciências sociais ou da psicologia (em particular, da psicofísica) - ver referências em (Fishburn, 1967), (von Winterfeldt e Edwards, 1986, §7.3), (Farquhar e Keller, 1989). As mais utilizadas são as técnicas de “bissecção” (em termos de diferenças de preferência) e as técnicas de “pontuação direta” (direct rating) (ver descrições simples de ambas em (Goodwin e Wright, 1991, capítulo 2)). O que mais chama a atenção em todos estes métodos de avaliação é a dificuldade do processo de interrogatório que todos seguem, o qual põe problemas complexos de operacionalidade da noção de intensidade de preferência. Sob o ponto de vista do ator, o problema reside, sobretudo, no fato de todos os métodos obrigarem o avaliador, mais ou menos explicitamente, a comparar diferenças de preferência entre dois pares de ações, em associação estrita com o conceito de intensidade de preferência introduzido por Pareto (1906) e Frish (1926). Além disso, as propostas alternativas que se podem encontrar na literatura, como o recurso à noção de troca, ou a uma dimensão exterior ao problema (em particular, ao conceito de willingness-to-pay - cf. (Krantz et al., 1971), (Keeney e Raiffa, 1976), (Dyer e Lorber, 1982)), a lotarias ou à noção de mundos paralelos (cf. (Camacho, 1982) e (Vansnick, 1984)) não parece simplificar com vantagem prática sobre as técnicas da bissecção ou de direct rating, a formulação das questões postas. Para procurar ultrapassar estas dificuldades, apresenta-se na sequência deste artigo, uma nova abordagem ao problema da construção de um critério de valor cardinal sobre A a partir de juízos absolutos de diferença de atratividade.

7.2 Abordagem MACBETH para construção de um critério cardinal

Uma idéia fundamental subjacente à concepção desta abordagem ao problema da construção de uma escala cardinal sobre A consiste em, ao contrário dos métodos referidos anteriormente, não pôr ao avaliador questões que envolvam quatro ações, do tipo “a diferença de atratividade entre a e b é maior, igual ou menor que a diferença de atratividade entre c e d ?”.

Segundo Bana e Costa (1995a), recomenda-se o envolvimento de apenas duas ações a cada momento de julgamento, colocando ao avaliador perguntas mais simples que exigem dele apenas a elaboração de juízos absolutos sobre a diferença de atratividade entre duas ações. Propõe-se desta maneira o seguinte questionamento:

Dados os impactos $i_j(a)$ e $i_j(b)$ de duas ações potenciais a e b de A segundo um ponto de vista fundamental PV_j (e, eventualmente os indicadores de dispersão $\delta_j(a)$ e $\delta_j(b)$), sendo a julgada mais atrativa (localmente) que b , a diferença de atratividade entre a e b é “muito fraca”; “fraca”; “moderada”; “forte”; “muito forte” e “extrema”?

Para facilitar o diálogo facilitador/avaliador, introduz-se uma escala semântica formada por algumas categorias de diferença de atratividade.

Assim, $\forall a, b \in A$ com a mais atrativa que b (aPb), o avaliador é convidado a exprimir um juízo qualitativo absoluto sobre a diferença de atratividade entre a e b , alocando o par (a, b) a uma e uma só das categorias semânticas propostas.

O mesmo tipo de idéia fora já avançada por Freeling (1983) e por Belton (1986a e b), na seqüência das suas análises críticas do Método de Saaty (1977, 1980). Convém pois explicar em que é que a metodologia MACBETH se distingue muito claramente dos trabalhos de Saaty por um lado e de Freeling e Belton por outro. No que respeita a Saaty, é importante começar por realçar que a escala semântica que ele utiliza no seu método não é, ao contrário da que se utiliza em MACBETH, uma escala de diferenças de atratividade, mas sim uma escala de razões de prioridade (ou importância). Estes dois conceitos, prioridade e

importância, são diferentes do conceito de atratividade, uma vez que não é possível descer abaixo de um grau nulo de prioridade ou de importância, enquanto que o conceito de atratividade admite um oposto: o de repulsividade. A desvantagem de trabalhar com um conceito monopolar (como o de prioridade ou o de importância) é que, neste caso, o zero não representa um nível neutro, tendo antes uma conotação nitidamente negativa, pois que representa “the condition of maximal absence of something that is a genuine value” (Rescher, 1969, p. 64). Este fato pode gerar uma certa confusão no espírito de quem deve emitir juízos de valor e, portanto, põe problemas de falta de significação substantiva (agravados se interpretarem as respostas às questões do tipo Saaty em termos de intensidade de preferência - cf. (Lootsma, 1993)). No que diz respeito, ao mesmo tempo, aos trabalhos de Saaty, Freeeling e Belton, MACBETH distingue-se claramente nos pontos seguintes: O que fazem estes três autores apresenta um caráter não só muito restritivo, mas também totalmente arbitrário na passagem do semântico ao quantitativo, uma vez que todos fazem corresponder a cada categoria, da escala semântica que introduzem, um e um só número real (ou, geometricamente, um e um só ponto de uma reta graduada), arbitrariamente fixada como medida da diferença de valor (em Freeeling e Belton) ou do rácio de prioridade (em Saaty) correspondente a essa categoria.

A escala MACBETH consiste num intervalo da reta real que é associado a cada uma das categorias, sendo este intervalo não fixado a priori.

A regra de codificação numérica que se propõe, consiste em associar a cada ação a de A , um número real $v(a)$ tal que as diferenças $v(a) - v(b)$, com aPb , sejam o mais possível compatíveis com os juízos absolutos de diferença de atratividade formuladas pelo avaliador, no sentido em que, para todos os pares (a, b) alocados a uma mesma categoria, as diferenças $v(a) - v(b)$ pertençam ao mesmo intervalo, sem que os intervalos correspondentes a categorias diferentes se sobreponham. De forma mais precisa, à partição em categorias do conjunto dos pares ordenados (a, b) de $A \times A$ tais que aPb , propomos associar uma partição da semi-reta dos reais positivos em intervalos, dois intervalos contíguos correspondendo a duas categorias consecutivas. No plano prático, para determinar estes intervalos basta definir os seus limites, os quais podem ser vistos como limiares de diferença de valor que fazem a transição entre categorias consecutivas.

Dessa forma, MACBETH liga-se ao problema teórico da representação numérica

de semi-ordens ordens múltiplas, problema estudado e resolvido por Doignon (1987) no caso geral. Seja $(P^{(1)}, \dots, P^{(k)}, \dots, P^{(m)})$ uma estrutura de m relações binárias, em que $P^{(k)}$ representa uma relação de preferência tanto mais forte quanto k é grande, sempre em termos de um dado ponto de vista fundamental PV_j . As semi-ordens múltiplas introduzem-se de maneira natural desde que se queiram representar as preferências através de uma função v e de funções-limiais s_k tais que, por exemplo:

$$a P^{(k)} b \Leftrightarrow s_k < v(a) - v(b) < s_{k+1}.$$

Nesse caso, os limiares s_k são constantes reais positivas, que limitam os intervalos correspondentes às categorias semânticas C_k ($k = 1, \dots, m$). Recorde-se que uma escala de diferenças de atratividade é uma escala limitada à esquerda, pelo seu zero, mas não limitada à direita (sendo $a P^{(m)} b$, é sempre teoricamente possível encontrar um nível de impacto definindo uma ação real ou fictícia c tal que c é preferível $a b$ mais do que a é preferível $a b$). Então, a última categoria C_m não é limitada à direita. Entre a origem $s_1 = 0$ e s_m toda uma infinidade de limiares e , por conseguinte, de categorias, podem ser definidos.

No entanto, segundo Blumenthal (1977, p.88) o número de nuances que uma pessoa é capaz de introduzir aquando da expressão de um juízo absoluto é muito limitado:

“These limits vary within a narrow range now commonly known as the magical number 7 plus-or-minus 2 following Miller’s (1956) description”.

O processo de interação utilizado na abordagem MACBETH leva em conta estes conhecimentos. Concretamente, MACBETH propõe ao avaliador que exprima os seus juízos absolutos de diferença de atratividade por uma de seis categorias ($m = 6$), de dimensão não necessariamente igual:

- | | | |
|-----------|---|--|
| C1 | → | diferença de atratividade muito fraca ; |
| C2 | → | diferença de atratividade fraca ; |
| C3 | → | diferença de atratividade moderada ; |
| C4 | → | diferença de atratividade forte ; |
| C5 | → | diferença de atratividade muito forte ; |
| C6 | → | diferença de atratividade extrema . |

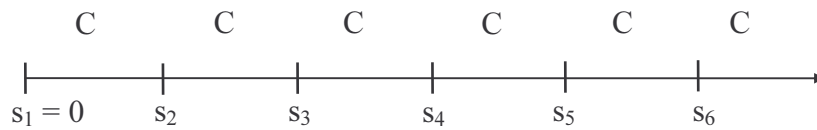


Figura 11. Categorias de Diferença de Atratividade (Bana e Costa, 1993)

Se o avaliador formou a convicção de que duas ações (ou mais) são igualmente atrativas, basta representar essas ações indiferentes por uma e uma só dentre elas no processo de avaliação absoluta por pares. Assim, para poder concentrar-se na componente cardinal do problema, assume-se neste artigo que existe já definida uma ordenação das ações de A por ordem decrescente de atratividade e que essa ordenação não contém ex-aequo. Tal corresponde a admitir verificada a hipótese H a seguir enunciada.

Hipótese H: Existe uma relação binária P definida por A , assimétrica, negativamente transitiva e conexa, que modeliza os juízos de atratividade de natureza ordinal do avaliador relativamente às ações de A .

Na prática, sendo $A = \{a_n, a_{n-1}, \dots, a_1\}$ o conjunto de n ações a avaliar, em que estas se apresentam já ordenadas por ordem decrescente de atratividade $a_n P a_{n-1} P \dots P a_1$ sem exaequo (tendo em conta a hipótese H), a primeira parte do processo de avaliação corresponde a preencher a sub-matriz triangular superior da matriz $n \times n$ das respostas categorizadas:

$$\begin{array}{cccccccc}
 & a_n & a_{n-1} & a_{n-2} & \cdot & \cdot & a_3 & a_2 & a_1 \\
 a_n & & X_{n,n-1} & X_{n,n-2} & \cdot & \cdot & X_{n,1} & X_{n,2} & X_{n,1} \\
 a_{n-1} & & & X_{n-1,n-2} & \cdot & \cdot & X_{n-1,3} & X_{n-1,2} & X_{n-1,1} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & & & & \cdot & \cdot & & X_{3,2} & X_{3,1} \\
 a_3 & & & & \cdot & \cdot & & & X_{2,1} \\
 a_2 & & & & \cdot & \cdot & & & \\
 a_1 & & & & & & & &
 \end{array}$$

Figura 12. Matriz de juízos de valor

em que, $\forall i > j \in \{1, 2, \dots, n\}$, x_{ij} toma o valor $k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ se o avaliador afetar o par (a_i, a_j) à categoria C_k .

7.2.1 Análise da consistência dos juízos absolutos formulados

A abordagem MACBETH propõe ao avaliador certas hipóteses lógicas de trabalho na elaboração dos seus juízos de diferença de atratividade entre ações, que se traduzem na verificação de aspectos relacionados com a consistência dos juízos expressos.

Começa-se por notar que, se o avaliador afetou o par de ações (a, b) , com aPb , à categoria C_k e o par (b, c) à categoria $C_{k'}$ tais que $k > k'$, isto deve significar, indiretamente, que para o avaliador a é mais atrativa que b mais do que b é mais atrativa que c , isto é, em termos de diferenças de valor, $v(a) - v(b) > v(b) - v(c)$. Nesta linha de raciocínio, é então lógico propor, como hipótese de trabalho (chave) para a construção das preferências cardinais, que a diferença de valor entre a e b e entre b e c . Um teste de consistência semântica entre ternos de ações pode agora ser enunciado:

$$(a, b) \in C_k \text{ e } (b, c) \in C_{k'} \Rightarrow (a, c) \in C_{k''}, \text{ com } k'' \geq \max(k, k').$$

A verificação desta condição para todo o terno de ações tais que $aPbPc$ garante que, se não existirem ciclos de inconsistência semântica entre quatro ou mais ações. É claro que, *o avaliador é semanticamente consistente nas suas respostas se, e só se, na matriz triangular superior dos julgamentos verbais, os valores x_{ij} correspondentes não decrescerem em linha nem crescerem em coluna*. Este tipo de teste insere-se perfeitamente na perspectiva interativa de aprendizagem que se defende para o apoio à decisão e a que qualquer ferramenta técnica deve subordinar-se (cf. (Bana e Costa, 1993)).

Essa experiência empírica de utilização deste teste em casos reais tem mostrado que os avaliadores, ao ser-lhes assinalada uma inconsistência semântica, rapidamente revêem os juízos nela envolvidos, e que à medida que se vão familiarizando e aprendendo com o processo de avaliação por categorias, as situações de inconsistência reduzem-se significativamente.

Uma vez afetados todos os pares (a, b) , de ações de A , tais que aPb , a uma das 6 categorias semânticas C_1 a C_6 de diferença de atratividade, MACBETH procurará determinar simultaneamente, por programação linear:

- 6 números reais s_1 a s_6 que servirão de limites aos intervalos que representarão numericamente as 6 categorias semânticas,
- uma aplicação $v(\cdot):A \rightarrow \mathbf{R}$ fazendo corresponder a cada ação $a \in A$ um número real $v(a)$, de tal forma que, $\forall a, b \in A$ com aPb , as condições seguintes sejam satisfeitas:

$$0 = s_1 < s_2 < \dots < s_6 \quad (1)$$

$$s_k < v(a) - v(b) < s_{k+1} \Leftrightarrow (a, b) \in C_k, \quad k \neq 6, \quad (2)$$

$$s_6 < v(a) - v(b) \Leftrightarrow (a, b) \in C_6.$$

Mesmo quando a matriz de juízos absolutos é semanticamente consistente, para ela ser compatível com o tipo de representação numérica desejada - o mesmo é dizer, para que existam 6 números reais s_1 a s_6 e uma aplicação $v(\cdot):A \rightarrow \mathbf{R} : a \rightarrow v(a)$ satisfazendo as condições (1) e (2) - é necessário que os juízos do avaliador satisfaçam outros requisitos de consistência cardinal. De fato, é bem conhecido da teoria que a representação numérica de semi-ordens

múltiplas por limiares constantes nem sempre é possível (cf. (Doignon, 1987); ver também (Cozzens e Roberts, 1982) e (Roy e Vincke, 1987)). Observe um exemplo simples. Seja $A = \{a_5, a_4, a_3, a_2, a_1\}$ com as seguintes respostas do avaliador:

	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1
a_5		2	2	5	6
a_4			1	3	4
a_3				2	4
a_2					3
a_1					

Figura 13. Exemplo de consistência dos juízos formulados

Deduz-se de $(a_5, a_3) \in C_2$, $(a_3, a_2) \in C_2$ e $(a_5, a_2) \in C_5$ que se deveria ter $s_4 < 2.s_2$ e de $(a_4, a_2) \in C_3$, $(a_2, a_1) \in C_3$ e $(a_4, a_1) \in C_4$, que se deveria ter $2.s_2 < s_4$, o que é evidentemente impossível.

7.2.2 Formulação matemática do MACBETH: um método iterativo

MACBETH foi concebido para ser utilizado como um método iterativo de apoio à construção de uma escala cardinal sobre um conjunto A de ações, através da resolução, tecnicamente encadeada, de quatro programas lineares, Mc1 a Mc4, inicialmente formulados em (Bana e Costa e Vansnick, 1994) e para os quais propomos aqui uma nova formulação mais simples. O programa Mc1, o primeiro a ser utilizado, analisa a consistência cardinal do conjunto dos juízos de diferença de atratividade dados pelo avaliador, isto é, se existem limiares constantes $s_1 = 0, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6$ e uma aplicação $v(\cdot): A \rightarrow \mathbf{R} : a \rightarrow v(a)$ verificando as condições (1) e (2). Matematicamente, o problema pode ser assim formulado:

Problema 1:*Restrições:*r0) todas as variáveis ≥ 0 ;r1) $s_1 = 0$;r2) $v(a_1) = 0$ em que $\forall a \in A, aPa_1$,(o valor atribuído à ação menos atrativa a_1 é fixado igual a 0, o que não é restritivo);r3) $\forall k \in \{2, 3, 4, 5, 6\} : s_k - s_{k-1} \geq 1000$;r4) $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}, \forall (a, b) \in C_k : v(a) - v(b) \geq s_k + 1 - c$ r5) $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, \forall (a, b) \in C_k : v(a) - v(b) \leq s_{k+1} - 1 + c$ *Função-Objetivo:* Minimizar c

NOTA: A diferença de atratividade entre duas ações deve estar se possível, no intervalo correspondente à categoria respectiva; c é uma variável auxiliar - ver Figura 11.

Se a solução do problema 1 for $c_{\min} = 0$, o conjunto dos juízos dados pelo avaliador é consistente e, portanto, existe uma função-critério cardinal compatível com esses juízos, sendo uma solução dada pelo programa Mc2. Caso contrário, se $c_{\min} > 0$, há inconsistência nos juízos dados, isto é, para se encontrar uma representação numérica do tipo desejado é necessário modificar algum ou alguns dos juízos iniciais, para o que se p

oderá seguir sugestões dadas pelos programas Mc3 e Mc4. O resultado do programa Mc1 é, assim, o valor de um indicador de inconsistência c_{\min} , que (contrariamente ao índice de inconsistência proposto por Saaty no seu método) tem uma significação substantiva simples e direta.

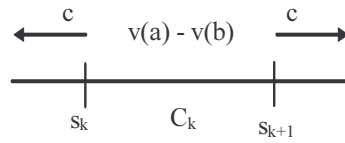


Figura 14 - Função da variável c

O programa Mc2 determina números reais $s_1=0, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6$ e $v(a)$ ($a \in A$) que satisfazem as restrições r1 a r5 depois de substituir em r4 e r5 a variável c pelo valor c_{\min} determinado pelo programa Mc1. A formulação do problema resolvido por Mc2 é:

Problema 2:

Restrições:

r0, r1, r2, r3 do problema 1;

r4') $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}, \forall (a, b) \in C_k : v(a) - v(b) \geq s_k + 1 - c_{\min}$

r5') $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, \forall (a, b) \in C_k : v(a) - v(b) \leq s_{k+1} - 1 + c_{\min}$

r6) $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, \forall (a, b) \in C_k : v(a) - v(b) = (s_k + s_{k+1})/2 + \varepsilon(a, b) - \eta(a, b);$

(ver Figura 14);

r7) $\forall (a, b) \in C_6 : v(a) - v(b) = s_6 + 1 - \alpha(a, b) + \delta(a, b).$

$$\text{Função-objetivo: } \min \left\{ \sum_{\substack{(a,b) \in C_k, \\ k \in \{1,2,3,4,5\}}} [\varepsilon(a,b) + \eta(a,b)] + \sum_{(a,b) \in C_6} \alpha(a,b) \right\}$$

NOTA: A diferença de valor entre duas ações da categoria C_k ($k \neq 6$) deve ser o mais próxima possível da diferença de valor entre outro par de C_k e ao mesmo tempo o mais afastada possível da diferença de valor entre ações de outra categoria, o que é traduzido pela tentativa de centrar $v(a)-v(b)$ o mais possível no intervalo associado à categoria respectiva; note-se que em qualquer solução básica do programa linear correspondente se tem sempre $\varepsilon(a, b). \eta(a, b) = 0$.

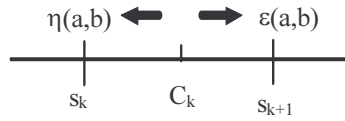


Figura 15 - Função das variáveis $\eta(a, b)$ e $\varepsilon(a, b)$ para C_k ($k \neq 6$).

Quando $c_{\min} = 0$, isto é, quando o conjunto dos juízos dados pelo avaliador é consistente, o processo de interação pode entrar diretamente numa fase de discussão centro sobre a validação da condição I (cf. §2) pela escala dos valores $v(a)$, $a \in A$, dada pelo programa Mc2. Uma forma de apresentar ao avaliador os valores $v(a)$ consiste numa representação gráfica em que cada ação a de A é colocada sobre um eixo vertical do modo seguinte:

- 1) $\forall a, b \in A$, a é colocada mais acima que b se e só se aPb .
- 2) $\forall a, b, c, d \in A$ com aPb e cPd , o quociente (distância entre os pontos a e b)/(distância entre os pontos c e d) é igual ao quociente $(v(a) - v(b)) / (v(c) - v(d))$.

Por outro lado, se $c_{\min} > 0$, isto é, quando há inconsistência nos juízos de diferença de atratividade dados pelo avaliador, os valores $v(a)$, $a \in A$, dados pelo programa Mc2, “conciliam” os juízos inconsistentes. Estes valores podem ser apresentados ao avaliador, passando-se diretamente à fase de validação da escala. Um procedimento alternativo, mais prudente e adequado a uma perspectiva interativa de aprendizagem no apoio à decisão, consiste em re-analisar os juízos iniciais, discutindo com o avaliador as possíveis que ele estará disposto a fazer por forma a tentar ultrapassar os problemas de inconsistência. É com o objetivo de facilitar esta fase de discussão que foram concebidos os programas Mc3 e Mc4 que evidenciaram possíveis causas de inconsistência.

Tecnicamente, os programas Mc3 e Mc4 resolvem, respectivamente, os problemas 3 e 4, com a mesma função-objetivo e que apenas diferem no fato de as restrições $r4'$ e $r5'$ fazerem apenas parte do problema 3:

Problema 3:

Restrições:

r0, r1, r2, r3, r4', r5' do problema 2;

r8) $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}, \forall (a, b) \in C_k : v(a) - v(b) = s_k + 1 - \alpha(a, b) + \beta(a, b)$

r9) $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, \forall (a, b) \in C_k : I(a) - v(b) = s_{k+1} - 1 + \beta(a, b) - \gamma(a, b)$.

Restrições do problema 4: r0, r1, r2, r3, r8 e r9.

Função-objetivo comum aos problemas 3 e 4:

$$\text{Min} \left\{ \sum_{\substack{(a,b) \in C_k \\ k \in \{1,2,3,4,5\}}} \beta(a,b) + \sum_{\substack{(a,b) \in C_k \\ k \in \{2,3,4,5,6\}}} \alpha(a,b) \right\}$$

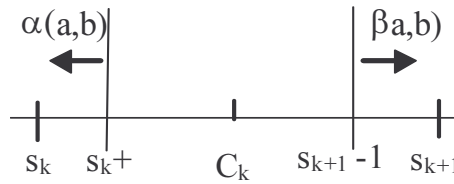


Figura 16 - Função das variáveis $\alpha(a, b)$ e $\beta(a, b)$ para C_k ($k \neq 6$).

Ao minimizar a soma das variáveis $\alpha(a, b)$ e $\beta(a, b)$ os programas Mc3 e Mc4 fazem ressaltar pares de ações cuja afetação às categorias respectivas especificadas pelo avaliador introduz problemas de inconsistência. Esses pares são aqueles para os quais resultam valores de $\alpha(a, b)$ ou de $\beta(a, b)$ diferentes de zero na solução ótima dos problemas 3 e 4, respectivamente (ver figura 4). É evidente que em qualquer solução dos programas lineares correspondentes ter-se-á sempre $\alpha(a, b) \cdot \beta(a, b) = 0$ e que em caso de consistência ($c_{\min} = 0$) todas estas variáveis auxiliares são nulas. A diferença entre as soluções ótimas destes dois problemas tem a ver com o fato de se restringirem (problema 3) ou não (problema

8. Informações e Relacionamentos Inter-PVF's

Efetuada os julgamentos absolutos de valor para cada ponto de vista fundamental, procede-se a obtenção das informações de natureza inter-pontos de vista fundamentais, para que com o uso de uma forma de agregação, seja possível realizar a avaliação global das alternativas potenciais.

Tal procedimento utilizado para a obtenção dos indicadores de impacto dentro de um ponto de vista fundamental, é usado para a determinação dos indicadores de impacto de cada ponto de vista fundamental perante a avaliação global do contexto decisional.

Todo ponto de vista fundamental se comporta, perante a avaliação global, como um nível de impacto dentro de um ponto de vista. Dentro de uma família de pontos de vista fundamentais, estes devem, pois, serem ordenados em função de sua importância, segundo os juízos de valor expressos pelo decisor.

A importância atribuída a cada ponto de vista fundamental, pelo decisor, está associada às taxas de substituição, que refletem a representatividade do ponto de vista na análise total do problema, isto é, correspondem aos fatores de escalas que convertem as unidades de valor locais em unidades de valor global.

A determinação das taxas de substituição é feita com referência às escalas de impactos dos critérios, e baseiam-se nas respostas dos decisores às questões que requerem, da parte destes, a comparação de alternativas de referência. Estas alternativas de referência são definidas com base nos melhores e piores níveis de impacto segundo os vários critérios. Bana e Costa e Vasnick (1995) aconselham a definição de um nível bom e de um nível neutro (nem atrativo nem repulsivo) segundo cada ponto de vista fundamental. Isto decorre do fato que a escolha de um nível melhor e um nível pior, pode acarretar no surgimento de uma repulsividade muito forte do decisor em relação ao pior nível de impacto, provocando uma avaliação não muito fiel dos juízos de valor do decisor.

Para a obtenção das taxas de substituição têm-se duas etapas principais. Inicialmente, solicita-se ao avaliador que exprima julgamentos holísticos sobre os pontos de vista fundamentais ao responder à pergunta:

Tendo os pontos de vista fundamentais PVF_i e PVF_j ambos no nível neutro, seria mais atrativo passar para o nível bom no ponto de vista fundamental PVF_i ou no PVF_j , mantendo um nível constante em todos os demais PVF's ?

Da execução do questionamento entre todos os pontos de vista fundamentais, surge a matriz de ordenação dos pontos de vista fundamentais (Tabela 3), onde cada elemento $X_{i,j}$ da matriz vai assumir o valor 1, se e somente se, passar para o nível bom no PVF_i for considerado mais atrativo que no PVF_j . Caso contrário, o valor de $X_{i,j}$ é igual a zero.

Matematicamente,

$$X_{i,j} = 1 \text{ se e somente se } PVF_i \succ PVF_j, \quad i, j = 1, \dots, n$$

	PVF₁	PVF₂	.	.	PVF_{n-1}	PVF_n
PVF₁	—	$x_{1,2}$	.	.	$x_{1,n-1}$	$x_{1,n}$
PVF₂	$x_{2,1}$	—	.	.	$x_{2,n-1}$	$x_{2,n}$
.	.	.	—	.	.	.
.	.	.	.	—	.	.
PVF_{n-1}	$x_{n-1,1}$	$x_{n-1,2}$	.	.	—	$x_{n-1,n}$
PVF_n	$x_{n,1}$	$x_{n,2}$	.	.	$x_{n,n-1}$	—

Tabela 3. Matriz de ordenação dos pontos de vista fundamentais.

Ordenam-se os PVF's em ordem decrescente de atratividade com base na soma dos valores dos elementos $x_{i,j}$ em cada linha. Quanto maior o somatório da linha mais atrativo é o ponto de vista.

A etapa seguinte do processo inicia com a construção de outra matriz, semelhante às aquelas construídas para determinação das escalas de valor cardinal relativa aos níveis de impacto de cada ponto de vista, onde os elementos estarão ordenados em uma sequência decrescente de importância, de modo que o ponto de vista fundamental considerado mais importante na etapa anterior apresenta-se situado em linha mais a esquerda que os demais, e em coluna, mais acima. Objetiva-se com isto, possibilitar o uso de uma matriz triangular superior para os julgamentos de diferença de atratividade, para que com a ordenação da matriz, torne-se fácil a realização do teste de inconsistência semântica (os julgamentos de diferença de atratividade não podem decrescer em linha da esquerda para a direita, e em coluna não podem aumentar de cima para baixo).

A fim de evitar a perda de informações, introduz-se na matriz de juízos de valor uma alternativa fictícia A_0 , que possui nível neutro em todos os pontos de vista. Forma-se então a matriz das taxas de substituição entre os pontos de vista fundamentais, expressa pela Tabela 4.

	PVF1	PVF3	PVF4	PVF2	A0
PVF1		$x_{1,3}$	$X_{1,4}$	$x_{1,2}$	$x_{1,A0}$
PVF3			$X_{3,4}$	$x_{3,2}$	$x_{3,A0}$
PVF4				$x_{4,2}$	$x_{4,A0}$
PVF2					$x_{2,A0}$
A0					

Tabela 4. Matriz de juízos de valor para ponderação dos PVF's (Corrêa, 1996).

O preenchimento da matriz de juízos de valor para determinação dos coeficientes de ponderação, obedece ao mesmo princípio daquele descrito anteriormente, quando da construção das escalas de valor cardinais para os níveis de impacto de cada ponto de vista fundamental, ou seja, é baseado em julgamentos absolutos de diferença de atratividade.

Difere, no entanto, apenas na forma do questionamento, onde se pede ao decisor que responda para o preenchimento de uma célula, como por exemplo, $x_{1,3}$, à seguinte pergunta:

Uma vez que passar do nível neutro para o nível bom no PVF1 foi considerado mais atrativo do que no PVF3, mantendo todos os demais constantes, esta diferença de atratividade é fraca, forte,?

Para responder a estas questões relativas a cada célula da matriz, o decisor utilizará as mesmas categorias já apresentadas anteriormente (diferença de atratividade muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema).

A inclusão da alternativa fictícia A_0 , faz-se necessária para que haja a possibilidade de se estabelecer a diferença de atratividade, entre uma alternativa que esteja no nível bom no ponto de vista fundamental menos importante e no neutro em todos os demais e uma alternativa que esteja no nível neutro em todos os pontos de vista.

Uma vez preenchida e verificada a consistência semântica da matriz de juízos de valor para as informações inter-PVF, a metodologia MACBETH calcula uma escala que depois de normalizada fornece os valores das taxas de substituição para todos os PVF's. A forma de cálculo é exatamente igual àquela utilizada para determinação das escalas de valor cardinais para os níveis de impacto em cada PVF.

Determinada a importância de cada ponto de vista fundamental, perante o contexto global do problema, prossegue-se a avaliação das alternativas potenciais. Para tanto, necessita-se definir os indicadores de impacto de cada alternativa, perante cada ponto de vista fundamental, como mostra a Figura 18

Uma vez identificados os impactos das m alternativas, perante os n pontos de vista fundamentais, obtém-se uma matriz de impacto, conforme consta na Tabela 5.

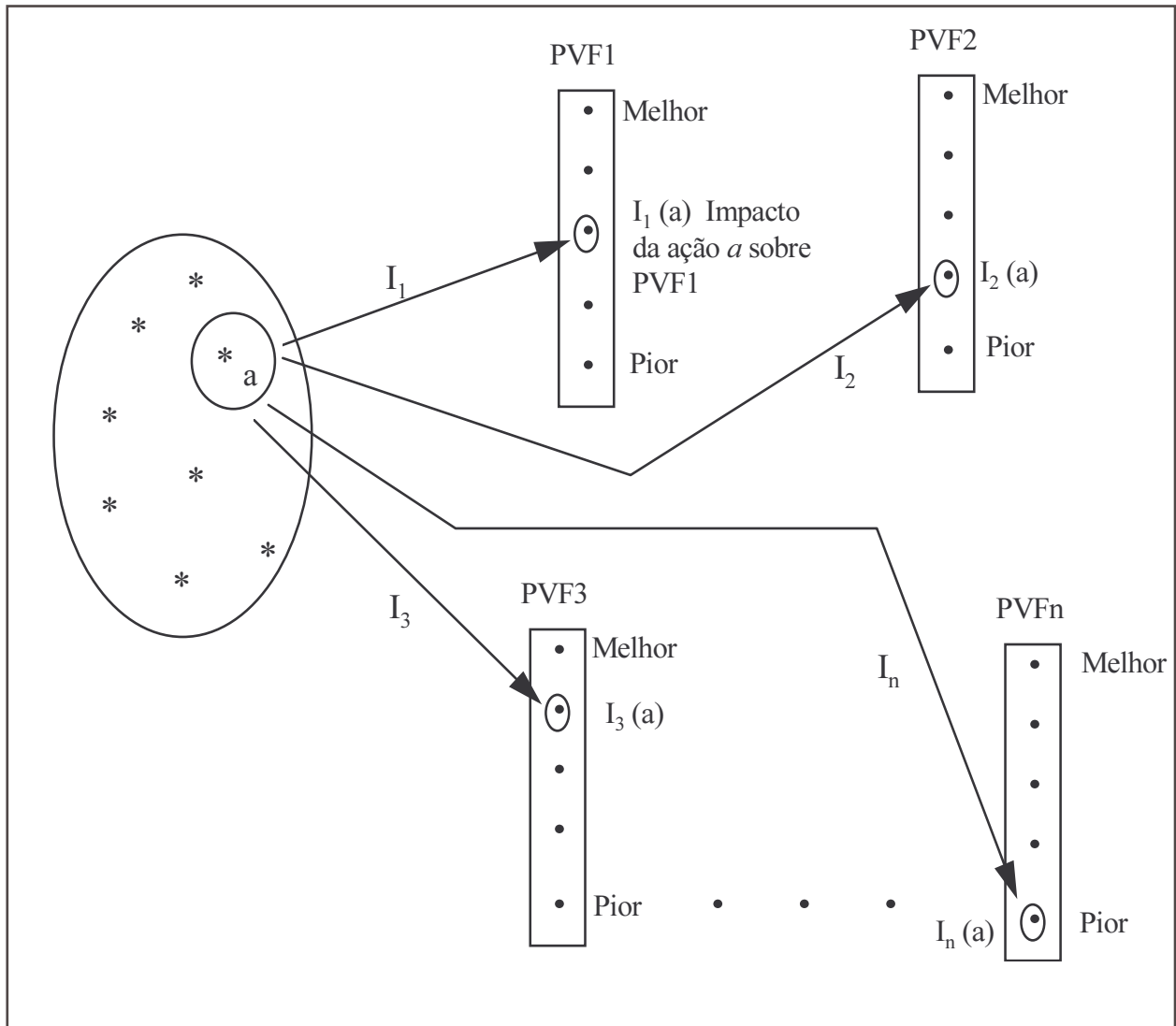


Figura 18. Perfil de impactos da ação a em relação aos n pontos de vista fundamentais (Corrêa, 1996).

	Ação a	Ação b	...	Ação m
PVF1	$I_1(a)$	$I_1(b)$		$I_1(m)$
PVF2	$I_2(a)$	.		.
.				
.				
.				
PVFn	$I_n(a)$	.		$I_n(m)$

Tabela 5. Matriz de impacto das m alternativas, perante os n pontos de vista fundamentais (Corrêa, 1996).

Caracterizado o perfil de impactos para cada ação ($I_1(a)$, $I_2(a)$, ..., $I_n(a)$), e dispondo das escalas de valor cardinal, obtidas anteriormente, elabora-se a avaliação parcial da ação a , com base na representação do valor de cada nível de impacto do descritor, segundo cada um dos pontos de vista fundamentais (Tabela 6).

	Ação a	Ação b	...	Ação m
PVF1	$I_1(a)$ $v(I_1(a))$	$I_1(b)$ $v(I_1(b))$		$I_1(m)$ $v(I_1(m))$
PVF2	$I_2(a)$ $v(I_2(a))$	.		.
.				
.				
.				
PVFn	$I_n(a)$ $v(I_n(a))$	.		$I_n(m)$ $v(I_n(m))$

Tabela 6. Matriz de impactos das m ações, segundo os n PVF's, com as respectivas avaliações parciais (Corrêa, 1996).

De posse desta matriz de impactos das ações em todos os pontos de vista, e realizada a avaliação das ações segundo cada PVF, busca-se então a avaliação global das alternativas. As informações necessárias para que seja possível a agregação das avaliações parciais são as taxas de substituição, já obtidas anteriormente.

Por meio do modelo da agregação aditiva, as ações são qualificadas de acordo com a valoração obtida. Considerar-se-á a melhor ação, aquela que possuir maior avaliação global perante todos os pontos de vista, ou seja, aquela que possuir maior valor para V_k , para $k = 1, 2, \dots, m$, identificado por:

$$V(k) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v(I_i(K))$$

onde, $v_i(k)$, identifica a avaliação parcial da ação k , perante o ponto de vista fundamental i

W_i identifica a importância relativa ou taxa de substituição do ponto de vista fundamental

$V(k)$ identifica a avaliação global da ação k , perante todos os pontos de vista fundamentais.

Determinados os $V(k)$ s, considera-se como melhor alternativa potencial (ação), aquela cuja avaliação global apresentar maior pontuação.

O cuidado em cada uma das fases do processo de apoio à decisão, servirá fundamentalmente para o crédito dos resultados fazendo com que a tomada de decisão possa se processar de forma segura e consistente. Os questionamentos que porventura surgirem quanto à veracidade dos resultados, poderão ser supridos facilmente, tendo em vista o grau de participação do decisor na elaboração, estruturação e avaliação das alternativas potenciais, e o seu conhecimento a respeito da metodologia a ser empregada, constituindo-se desta forma, em uma decisão robusta e auto-sustentável.

PARTE B

APLICAÇÃO PRÁTICA

9. O USO DO MCDA NA SELEÇÃO DE UM CENTRO DE USINAGEM

Em todas as organizações, a adoção de uma ferramenta que sirva de apoio ao processo decisório promove em muito o reconhecimento mais aprofundado dos problemas a serem solucionados.

Apresentada o MCDA – Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão, com suas fases, detalhamentos e resultados obtidos na adoção do modelo, busca-se agora a validação da referida metodologia com a elaboração de um estudo de caso.

Propõe-se neste trabalho o estudo do processo de aquisição de uma máquina CNC: Centro de Usinagem de Produção por uma Central de Usinagem. Tal processo de escolha envolve uma série de requisitos (nem todos técnicos) conflitantes.

A correta aquisição de um centro de usinagem pelas empresas responsáveis por tais serviços é primordial para a concretização do sucesso da empresa no mercado onde atua.

Atualmente, cada empresa do setor metal-mecânico utiliza uma metodologia própria na escolha de um centro de usinagem de produção, a fim de adquiri-lo. Entretanto, muitas vezes, o tipo de centro de usinagem escolhido, acaba não tendo muita consonância com aquele que iria, de forma racional e global, satisfazer as necessidades da empresa.

9.1. LOCALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A cidade de Joinville, berço industrial do estado conta com 900 indústrias, sendo sua grande maioria voltada para os ramos metal-mecânico, plástico e têxtil, objetivando a produção para o mercado interno e externo.

O ramo metal-mecânico fica nesta cidade bem representado pelo Centro de Mecânica de Precisão de Joinville (CMPJ), cuja sede e base de funcionamento se encontram localizadas junto às dependências da Escola Técnica Tupy (ETT), sendo esta dirigida pela Sociedade Educacional de Santa Catarina, sua mantenedora jurídica, através de um conselho de empresários da região.

O processo de funcionamento do CMPJ e a ETT se faz de maneira igual a uma empresa qualquer que atue na área de prestação de serviços para terceiros.

O Centro de Mecânica de Precisão de Joinville cumpre objetivos voltados às características das empresas da região, sendo os principais:

a) Ser um Centro formador de Recursos Humanos

- Especializar técnicos em Mecânica de Precisão;
- Treinar profissionais em áreas específicas como projeto, fabricação e controle dimensional e de forma de componente e produtos de precisão.

b) Ser um Centro de Absorção e Difusão Tecnológica em Mecânica de Profissão

- Realizar pesquisa aplicada;
- Fomentar o relacionamento com outros Centros de Mecânica de Precisão;
- Realizar palestras e seminários.

c) Ser um Centro de Assistência Técnica em Mecânica de Precisão

- Executar trabalhos de consultoria.

d) Ser um Centro Prestador de Serviços Especializados em Mecânica de Precisão

- Executar projetos de produtos de precisão;
- Realizar a fabricação de produtos de precisão;
- Executar controle dimensional e de forma de componentes e de produtos precisão;
- Aferir e calibrar instrumentos de medição.

A área de usinagem do CMPJ e a ETT, presta serviços de alta precisão para as empresas do país e do exterior.

Usina-se peças para um fabricante de máquinas de impressão de formulários contínuos do Rio Grande do Sul. Estas peças que até então eram importadas, hoje já são até exportadas para outros países.

Desenvolve-se usinagem para o Instituto de Pesquisa da Marinha do Brasil, com exigências dimensionais bastante apertadas.

A grande maioria dos clientes de usinagem são usuários de ferramentais, peças, modelos de Fundição e moldes para Plásticos.

Em muitos dos serviços que o CMPJ e/ou a ETT presta(m) para seus clientes, alguns são em forma de produtos. Como por exemplo, peças de máquinas que são fabricadas para os clientes. Acontece por sua vez, que para esses serviços serem executados a contento, depende de material que o CMPJ e/ou a ETT, compra(m) dos seus fornecedores.

Atualmente, um dos problemas que o CMPJ e a ETT enfrentam, é com relação aos seus fornecedores, que em muitos casos, deixam de cumprir uma série de especificações em seus produtos fornecidos. Onde por sua vez, quando isso acontece, o CMPJ e/ou a ETT que funciona(m) agora como fornecedor(es), também deixa(m) de cumprir uma série de especificações para com os seus clientes. Como exemplo de especificações não cumpridas pelos fornecedores tem-se o preço, prazo de entrega, a qualidade e o acompanhamento pós-venda.

Com a realização deste trabalho que será realizado junto aos setores de compras do CMPJ e da ETT, tem-se por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia que venha a minimizar estes problemas constantes no dia-a-dia da empresa, de modo a contribuir para o

processo de implementação definitiva do programa de Qualidade Total no conjunto CMPJ e ETT.

9.2. CONHECENDO UM CENTRO DE USINAGEM

A correta aquisição de um centro de usinagem pelas empresas responsáveis por tais serviços é primordial para a concretização do sucesso da empresa no mercado onde atua.

Atualmente, cada empresa do setor metal-mecânico utiliza uma metodologia própria na escolha de um centro de usinagem de produção, a fim de adquiri-lo. Entretanto, muitas vezes, o tipo de centro de usinagem escolhido, acaba não tendo muita consonância com aquele que iria, de forma racional e global, satisfazer as necessidades da empresa.

Afim de se promover um estudo eficaz sobre o processo de seleção de um centro de usinagem, faz-se necessário o conhecimento das características de um centro de usinagem.

Centros de Usinagem são as Máquinas Operatrizes de Usinagem, verticais ou horizontais, equipadas com Comando Numérico Contínuo, ou CNC, ou ainda os sofisticados CNA "Comandos Adaptativos", máquinas estas com grande capacidade, de remoção de cavaco, grande rigidez e alto grau de precisão e ainda são capazes de perfazer as operações de faceamento, fresamento, mandrilamento, furação, roscamento, alargamento, operações de abrir canais, contornos em um plano, superfícies no espaço etc.

Quando se diz que os Centros de Usinagem são máquinas com grande capacidade de remoção de cavaco. Está implícito que a remoção de cavaco tem que ser compatível com a potência instalada. Isto não quer dizer que os Centros de Usinagem são máquinas enormes.

Existem máquinas com potência de 5 HP no motor principal até 50 HP. Valores fora deste intervalo já entrariam em casos mais especiais.

O importante no Centro de Usinagem é o perfeito equilíbrio entre a potência disponível no eixo árvore, capacidade máxima de carga sobre a mesa e dimensões limites dos cursos dos diversos eixos programáveis.

Na década de 60, ou seja, início da comercialização dos Centros de Usinagem era comum conceituar que o melhor Centro de Usinagem seria o maior. Vários modelos incorriam no problema de serem grandes demais em potência e cursos, porém de pequena capacidade de peso sobre a mesa. Essas máquinas sem um equilíbrio de recursos além de tudo eram de tal forma complexas, o que as tornavam de difícil programação e operação.

Ainda com relação a capacidade de remoção de cavacos em se comparando com uma máquina convencional de mesma potência e igual rigidez, ambas têm a mesma capacidade.

No caso, diz-se que os Centros de Usinagem têm essa qualidade de grande remoção, mais devido a sua vantagem de ganho na eliminação até níveis baixíssimos dos movimentos manuais, além da vantagem de se poder programar da melhor maneira possível o ciclo racional de usinagem e de usar as ferramentas nas condições de avanço, velocidade e de corte ideais.

Nas figuras estão ilustradas algumas das operações possíveis de serem executadas com um centro de usinagem.

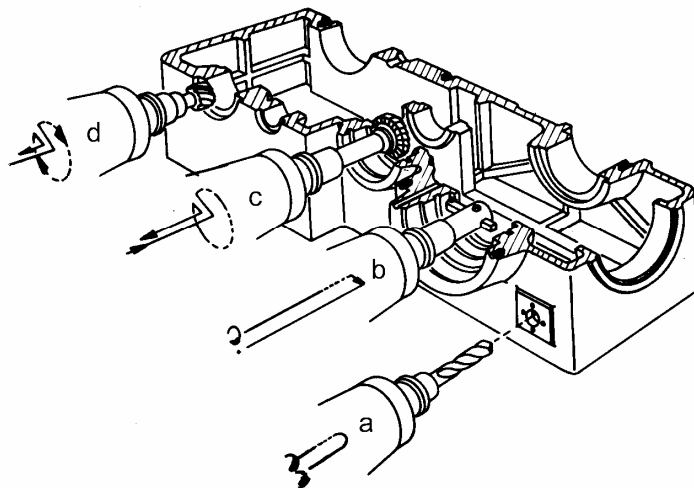


Figura 19. Operações típicas em centros de usinagem:

- a) Furação;
- b) Faceamento;
- c) Interpolação circular interna com fresa disco; e
- d) Interpolação circular externa com fresa de topo.

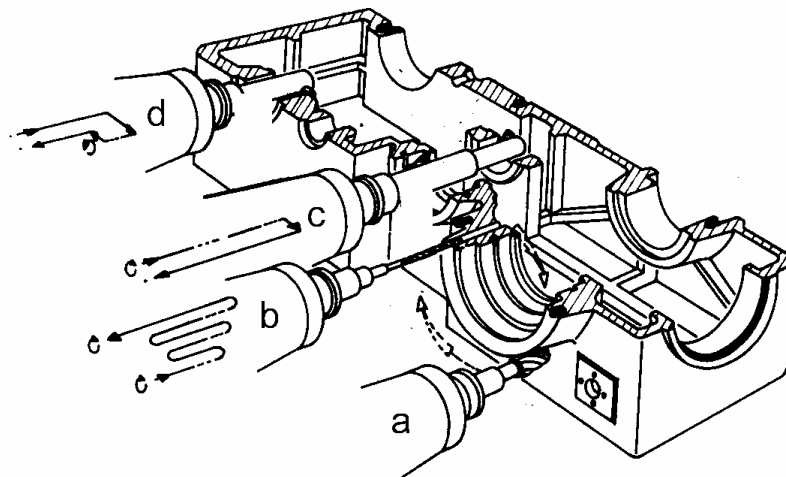


Figura 20. Operações típicas em centros de usinagem:

- a) Interpolação circular externa c/ fresa de topo cônico;
- b) Furação profunda com descarga de cavacos;
- c) Operação de furação múltipla;
- d) Faceamento com ferramenta ponto simples atrás do furo.

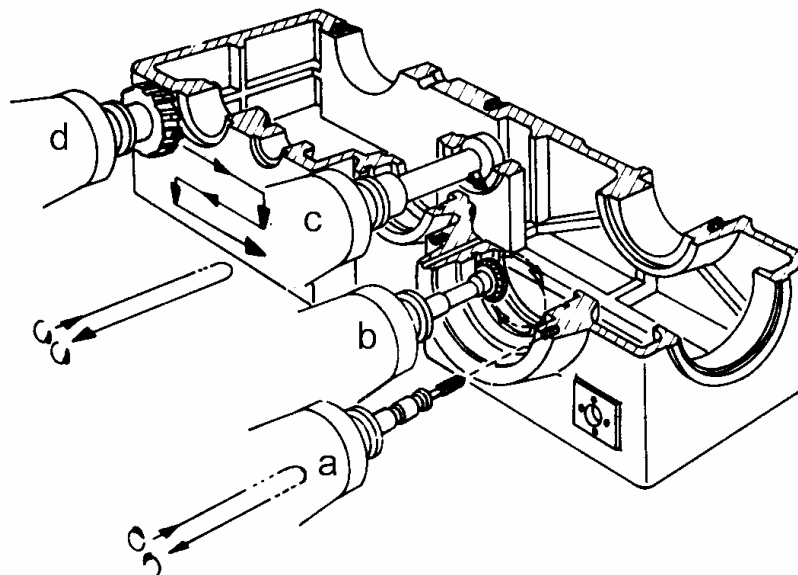


Figura 21. Operações típicas em centros de usinagem:

- a) Roscamento com macho;
- b) Interpolação circular em canal de anel elástico, interna, com fresa disco;
- c) Faceamento de furo com ferramenta ponto simples; e
- d) Faceamento de superfícies com fresas.

9.2.1 Classificação dos Centros de Usinagem

Como introdução ao estudo da programação dos Centros de Usinagem será feita uma classificação dos diversos tipos existentes e sob vários aspectos, os quais servirão para a definição dos critérios para a programação.

9.2.1.1 Quanto ao tipo de máquina

Existe a seguinte classificação quanto ao tipo de máquina:

- a) Centros de Usinagem Verticais: são aqueles cujo eixo das profundidades "z" é vertical; e
- b) Centros de Usinagem Horizontais: são aqueles cujo eixo das profundidades "z" está em um plano horizontal.

À medida que a potência da máquina aumenta, conseqüentemente aumenta-se a capacidade da máquina quanto a dimensão da peça (volume), a tendência é ter centros de usinagem horizontais, de onde advém a vantagem de trabalhar em qualquer face da peça (mesa indexável) com muito maior facilidade de carregar e descarregar a máquina.

Centros de usinagem verticais são ótimos para peças de pouca altura, com usinagem restrita a uma ou duas faces. Nessas máquinas verticais se a usinagem deve ser feita em mais de uma face no mesmo ciclo, então será requerido um divisor, ou seja, um dispositivo automático para indexação, que sempre será menos rígido do que uma mesa indexável do centro horizontal.

Para este tipo de classificação podem ser citados ainda os Sistemas Integrados de Fabricação que são centros de usinagem verticais, horizontais e interligados em um único sistema de fabricação, versáteis e altamente produtivos.

9.2.1.2 Quanto ao tipo de comando

Quanto ao tipo de comando, Centros de Usinagem podem ser equipados com Comandos Numéricos comuns, porém contínuo, Comandos Numéricos Computadorizados (CNC), Comandos Numéricos Adaptativos (CNA) e Comandos Numéricos controlados por Computador Central (DNC).

A maior tendência é o desaparecimento dos comandos numéricos comuns, dando lugar aos versáteis e cada vez mais econômicos CNC.

À medida que uma empresa se organiza e cada vez mais se estrutura em função do computador, a etapa conseqüente é a da aplicação do sistema DNC, ou seja, comandos controlados pelo computador central. Por outro lado, a constante evolução da eletrônica com a aplicação da tecnologia dos microprocessadores, vai tornar cada vez mais acessível o uso do computador, além de outros desenvolvimentos técnicos de programação e de construção.

Com o uso do computador e com a evolução das linguagens mais compactas para programação de máquinas com CN, uma tendência que se mostra bem viável em futuro próximo, é a aplicação dos DNC, principalmente em empresas que possuam um grupo considerável de máquinas com CN ou programáveis em operação. O importante é observar que o computador, além de ser elemento básico para a programação e para o controle, poderá fornecer e compilar dados importantíssimos para a administração, dados estes referentes a controle de produção e dados de utilização das máquinas operatrizes. Isto sem entrar em

outras vantagens, que poderiam advir de um sistema destes em operação, desde que bem administrado e conduzido. Eis aí o direcionamento ao "CAM" (*Computer Aided Manufacturing*) e o CIM (*Computer Integrates Manufacturing*).

9.2.1.3 Quanto ao número de eixos programáveis

Pode-se definir o eixo como sendo:

- a) uma linha de referência de um sistema de coordenadas, ex.: o eixo x, y etc.
- b) uma direção ao longo da qual ocorre o movimento da peça ou da ferramenta.

Basicamente, conforme já visto, existem os três eixos principais de programação definidos pelas três direções principais da máquina e que são:

- a) **Eixo x**: definido pela direção longitudinal
- b) **Eixo y**: definido pela direção transversal
- c) **Eixo z**: definido como o eixo das profundidades

A esses três eixos básicos podem estar associados a outros três, que são de mesma direção, porém, definem o movimento de rotação em torno destes. São, portanto, os eixos que definem movimentos rotacionais em torno dos eixos básicos.

Associado ao eixo "x" está o eixo rotacional "a", assim como ao "y" está o "b" e ao "z" está o "c", como mostra a figura.

Também aos três eixos básicos pode haver outros eixos co-direcionais e paralelos a estes, que são os casos de máquinas com mais de um cabeçote, ou corria cabeçote e mesa com movimentos na mesma direção etc.

Portanto, têm-se os eixos:

- a) básicos: x, y, z;

- a) Centros de usinagem com 2 eixos e programação contínua no plano de trabalho definido pelos eixos x e y. O terceiro eixo, eixo das profundidades é feito por forma automática também, mas sem o controle interligado.
- b) Centros de usinagem com 3 eixos. É o tipo mais comum que atende grande parte do trabalho de fabricação de peças tipo carcaça. Possui os três eixos básicos x, y e z programáveis e interligados.
- c) Centros de usinagem com mais de 3 eixos. São centros de usinagem que além dos três eixos básicos de programação x, y e z, possuem um ou mais eixos programáveis. Os mais comuns são com:

1º) x, y, z e "b" (máquinas horizontais)

2º) x, y, z e "w" (máquinas horizontais)

3º) x, y, z e "a" (máquinas verticais)

- d) Centros de usinagem com mais de 4 eixos. Podem ser considerados como sendo especiais e são bem mais raros. Combinações existentes para este caso:

1º) "x y z" "w" "b"

2º) "x y z" "a" "w"

A tendência principal seria o desaparecimento gradativo dos centros de usinagem com dois eixos, pois a única vantagem que oferece é o relativo custo inferior de aquisição, comparado ao centro de usinagem com três eixos. Com a simplificação dos controles devido a evolução dos CNC, fica praticamente fora a chance de continuar existindo os centros com dois eixos de programação.

9.2.1.4 Quanto à origem do sistema de referência

Dependendo do tipo da máquina, do detalhe de programação imposto pelo fabricante, podem existir duas classificações:

- a) Máquinas com origem do Sistema de referência fixa;
- b) Máquinas com origem do sistema de referência flutuante.

Tanto um como outro não tiram nenhum recurso da máquina. Existe, porém, uma leve vantagem sobre o primeiro tipo, o qual induz a uma programação mais homogênea, facilitando principalmente a operação do sistema.

9.2.2. Conceitos Auxiliares - Eixos de Programação

Para a compreensão das medidas obtidas acerca de um centro de usinagem é indispensável o conhecimento das nomenclaturas utilizadas para correta caracterização das variáveis a serem ponderadas na escolha de uma opção para compra e/ou avaliação.

Os seguintes conceitos devem ser referenciados no processo de análise de um centro de usinagem:

H – Conceito de "Direita" e "Esquerda" em máquinas horizontais para se definir posições e deslocamentos em relação ao plano de simetria da máquina.

H1 – Plano de simetria: o plano de simetria é o plano formado pela linha de centro do eixo árvore, com a linha de centro da mesa giratória. O cruzamento dessas linhas dá-se somente no ponto onde a mesa está na sua posição central. Se a máquina não tem mesa

giratória, será o centro da mesa da máquina, ou ainda uma linha que define uma posição pré-determinada da mesa, caso esta seja de projeto assimétrico.

H2 – Posição básica do observador para orientação geral: em máquinas horizontais, o observador deverá se postar na posição indicada pela Figura da máquina (vista de cima) olhando na direção do eixo contra a peça sobre a mesa da máquina. À sua direita estará o cabeçote principal da máquina, o qual é portador do eixo árvore e à sua frente estará a mesa porta-peça.

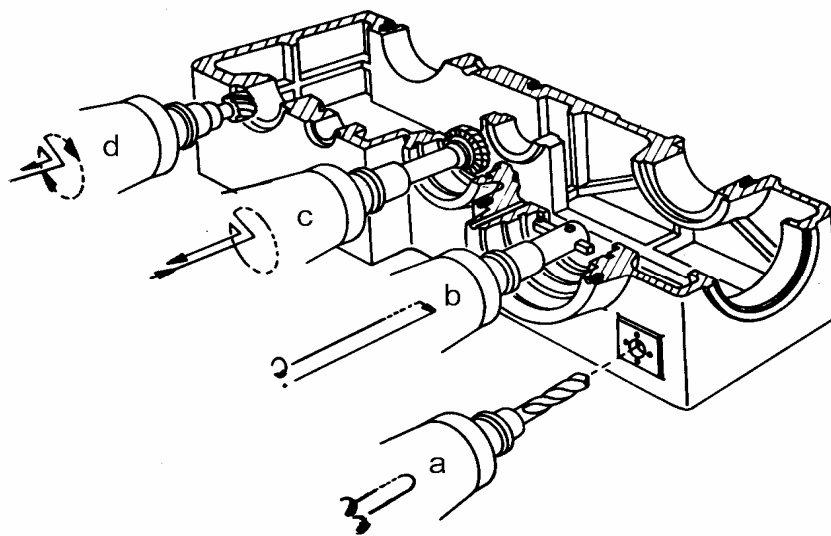


Figura 23. Posição do operador em centros de usinagem horizontais.

H3 – Hipótese para definição das direções dos eixos de coordenadas: para efeito de definição de direção dos eixos de coordenadas, não importa o tipo de máquina; considera-se *sempre a peça parada* e, a ferramenta que se movimenta nas três direções principais e nas demais direções auxiliares ou secundárias.

V – Conceito de "Direita" e "Esquerda" em máquinas verticais para se definir posições e deslocamentos em relação ao plano de simetria da máquina.

V1 – Plano de simetria: o plano de simetria é formado pela linha de centro do eixo árvore com a linha de centro, ou linha básica da mesa da máquina.

V2 – Posição básica do observador para orientação geral: em máquinas verticais, o observador deverá se postar na posição indicada pela Figura da máquina (vista de cima), colocando-se de modo que à sua frente esteja a coluna da máquina, na qual o cabeçote principal do eixo árvore está acoplado, e à sua frente esteja à mesa porta-peça.

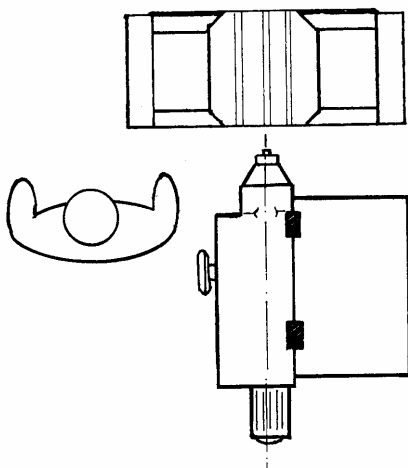


Figura 24. Posição do operador em centros de usinagem verticais.

V3 – Hipótese para definir as direções positivas dos eixos de coordenadas: para efeito de definição de direção dos eixos de coordenadas, não importa o tipo de máquina; considera-se *sempre a peça parada* e, a ferramenta que se movimenta nas três direções principais e nas demais direções auxiliares ou secundárias.

E – Conceito geral sobre eixo de programação: os conceitos a seguir apresentados têm como finalidade principal a simplificação na programação, operação, treinamento de processadores e facilidade para intercambiabilidade de critérios empregados em fabricação de máquinas.

E1 – Definições de eixo de programação:

- a) uma direção principal ao longo da qual ocorre o movimento da ferramenta ou da peça, de forma contínua e controlada;
- b) um dos eixos de referência no sistema de coordenadas cartesianas.

E2 – Sistema de coordenadas principal: Sistema de coordenadas principal é aquele definido pelos eixos principais: "x" "y" e "z" e a origem básica de maneira geral fica na posição de simetria da máquina, no eixo x e y e ainda para efeito geral, o sistema de referência é sempre fixo e se supõe sempre que a ferramenta é que se move no espaço e planos definidos. O sistema principal é constituído dos três eixos principais que definem os movimentos:

- a) Movimento longitudinal (transversal em máquinas horizontais);
- b) Movimento transversal (vertical em máquinas horizontais);
- c) Movimento das profundidades.

Conforme já visto, os eixos principais são denotados como eixo "x", eixo "y" e eixo "z". A intersecção dos eixos de coordenadas principais define a origem do sistema.

E3 – Eixo "x": Normalmente o eixo "x" é aquele que define o movimento paralelo à superfície da peça e é um eixo sempre contido em um plano horizontal. Nos centros de usinagem o eixo "x" tem como direção positiva a direção da esquerda para a direita. É visto pelo observador tanto em máquina horizontal como em máquina vertical. Ver os conceitos H2 e V2. Nos tornos a direção positiva do "x" pode variar dependendo da posição do carro, se dianteiro ou traseiro, em relação a linha de centro do eixo árvore. Poderia ser definida uma direção positiva tornando o campo de ação da outra possibilidade, negativo.

E4 – Eixo "z": O eixo "z" é o eixo do movimento de profundidade de uma máquina ferra-menta. Na maioria dos casos o eixo "z" é paralelo a linha de centro do eixo árvore da máquina, como nos centros de usinagem e nos centros de torneamento. Como variação desta regra, pode existir uma máquina vertical cujo eixo árvore tenha sua linha de centro contida em um plano horizontal. Se o eixo árvore tiver a possibilidade de inclinar, então se considera sempre o paralelismo do eixo "z" com a linha de centro, quando a posição do mesmo for a 0°.

E5 – Eixo "y": O eixo "y" nos centros de usinagem horizontal é um eixo vertical e nos centros de usinagem verticais é o eixo transversal. Sempre o eixo "y" é perpendicular ao plano "xz".

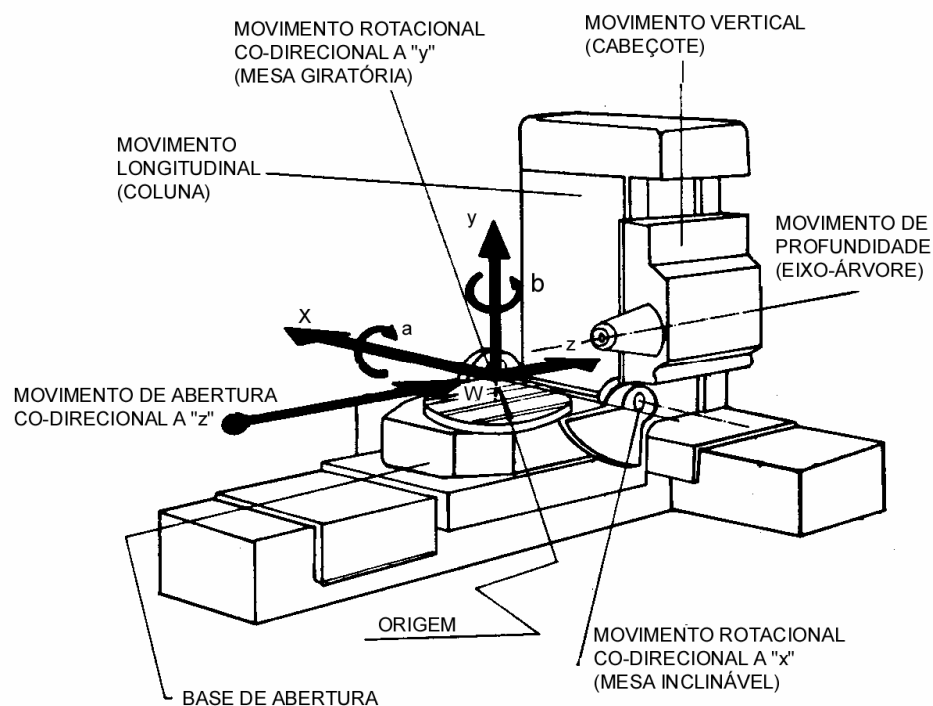


Figura 25. Centro de usinagem horizontal com 6 eixos. Inclinação da mesa.

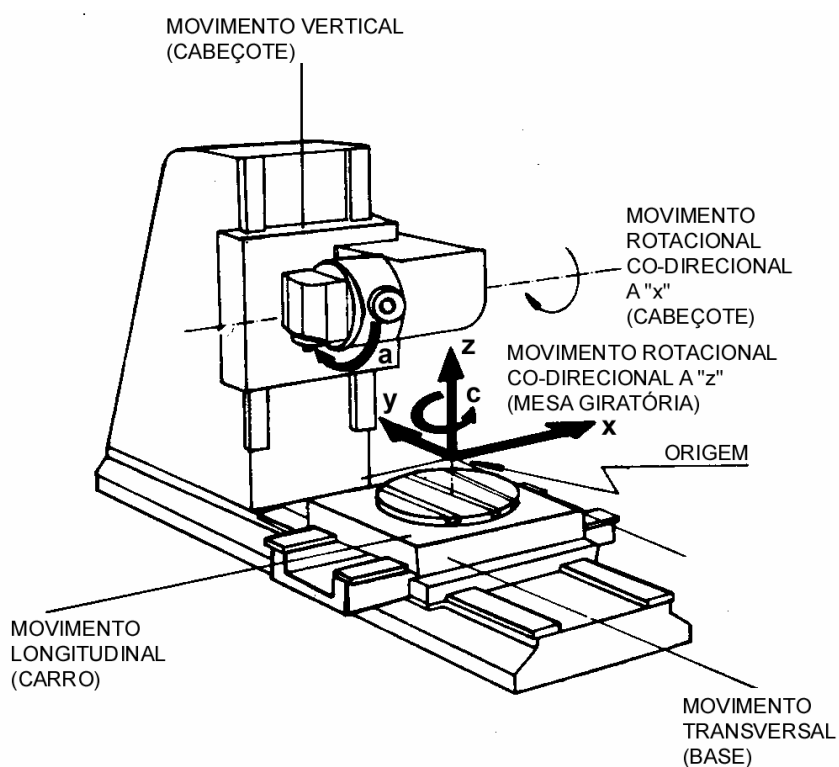


Figura 26. Centro de usinagem vertical com 5 eixos.

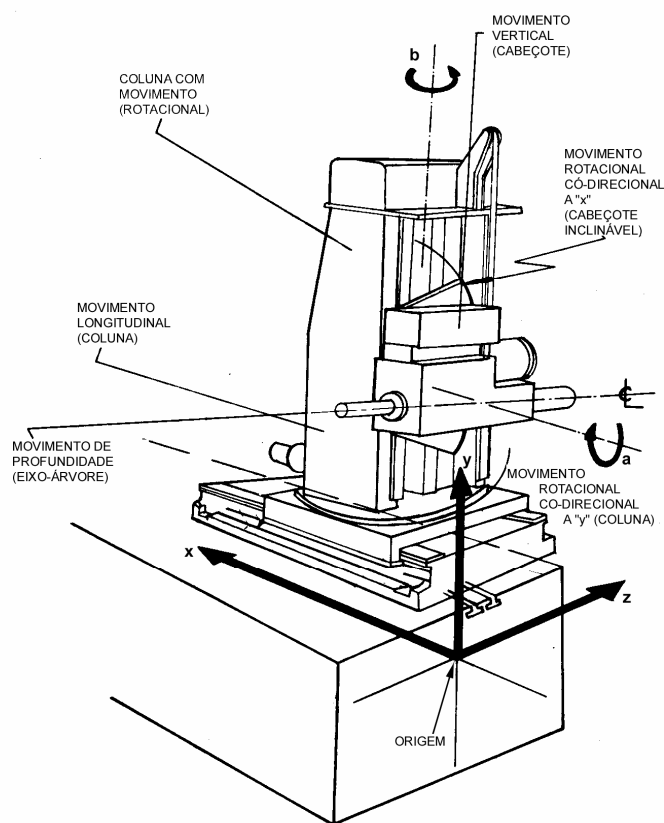


Figura 27. Centro de usinagem horizontal com posicionamento pela coluna com 5 eixos.

Definidas as características específicas de um centro de usinagem, partiu-se para a observação das demais variáveis externas presentes no processo de compra/avaliação de um centro de usinagem.

9.3. OBTENÇÃO DO MAPA COGNITIVO

A sequência de entrevistas com o decisor (diretor do CMPJ) do processo, fez com que fosse levantada uma grande quantidade de itens acerca do processo de escolha/seleção de um centro de usinagem.

Para a construção do mapa cognitivo que segue, Figura 28; foram considerados alguns objetivos a serem alcançados e os efeitos do não cumprimento dos mesmos (inversos psicológicos).

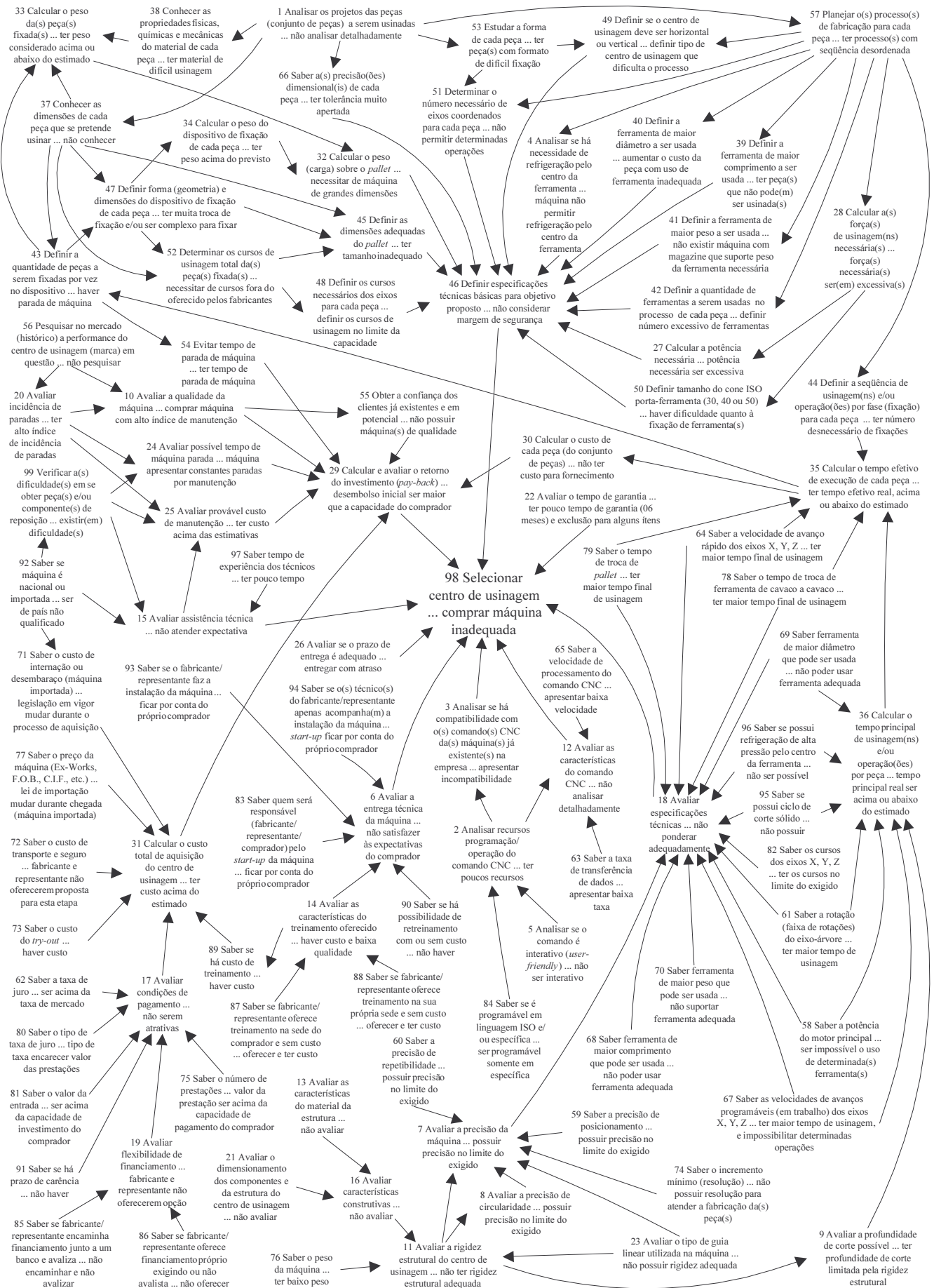


Figura 28. Mapa cognitivo do decisor.

Com o objetivo de melhor compreensão do mapa cognitivo, exposto anteriormente, da Figura 29, até a Figura 35, tem-se submapas do mapa cognitivo, que é o resultado da decomposição desses, em áreas de interesse ditadas por conceitos objetivos, a começar pelo conceito objetivo principal: **98 Selecionar centro de usinagem... comprar máquina inadequada**, que define o primeiro submapa a seguir na Figura 29.

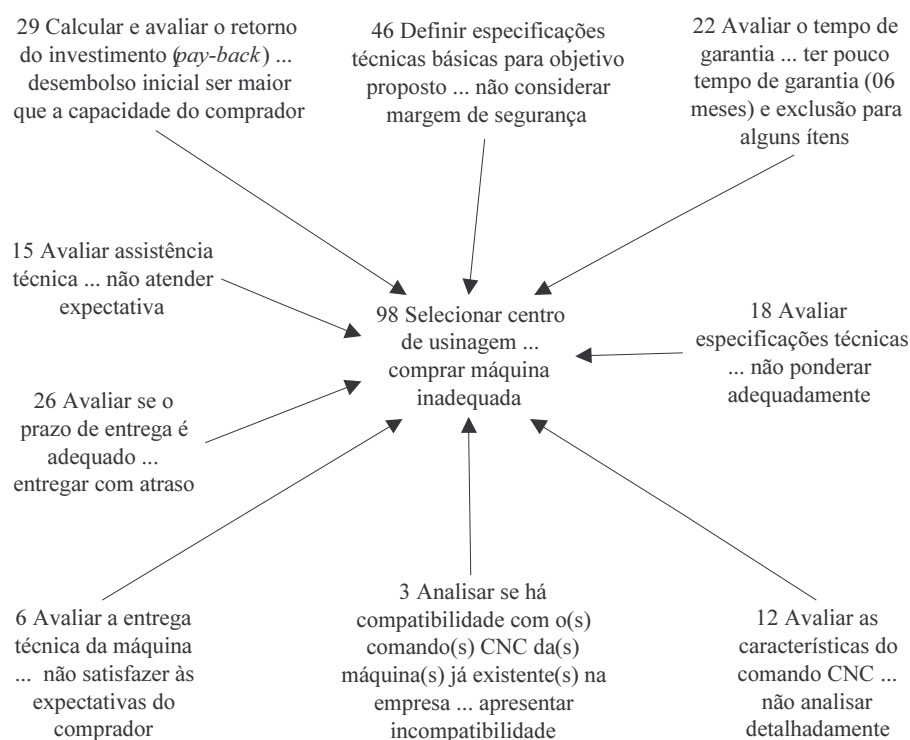


Figura 29. Conceitos ligados diretamente ao conceito objetivo: Selecionar centro de usinagem... comprar máquina inadequada.

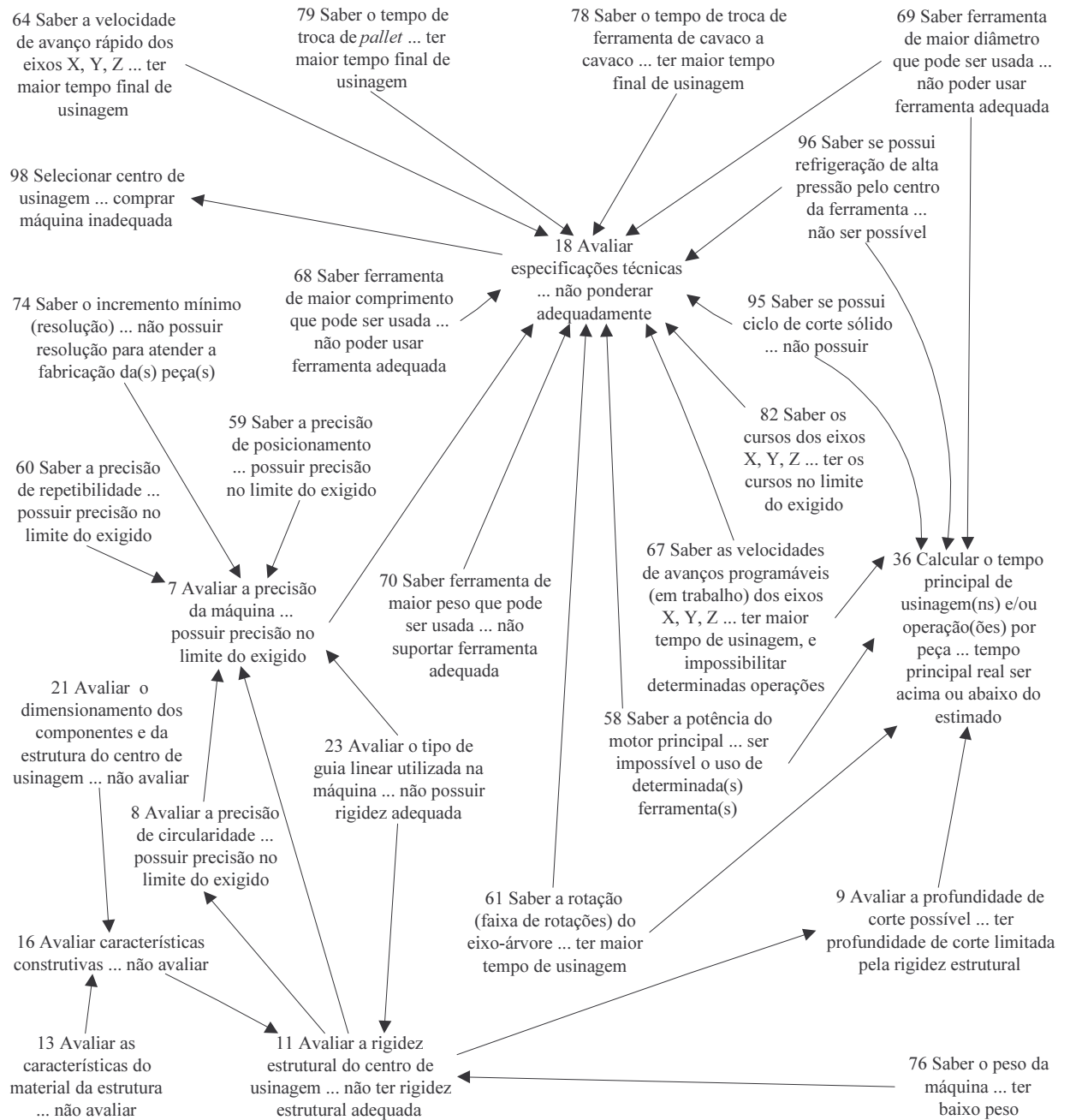


Figura 30. Conceitos que influenciam o conceito: Avaliar especificações técnicas... não ponderar adequadamente.

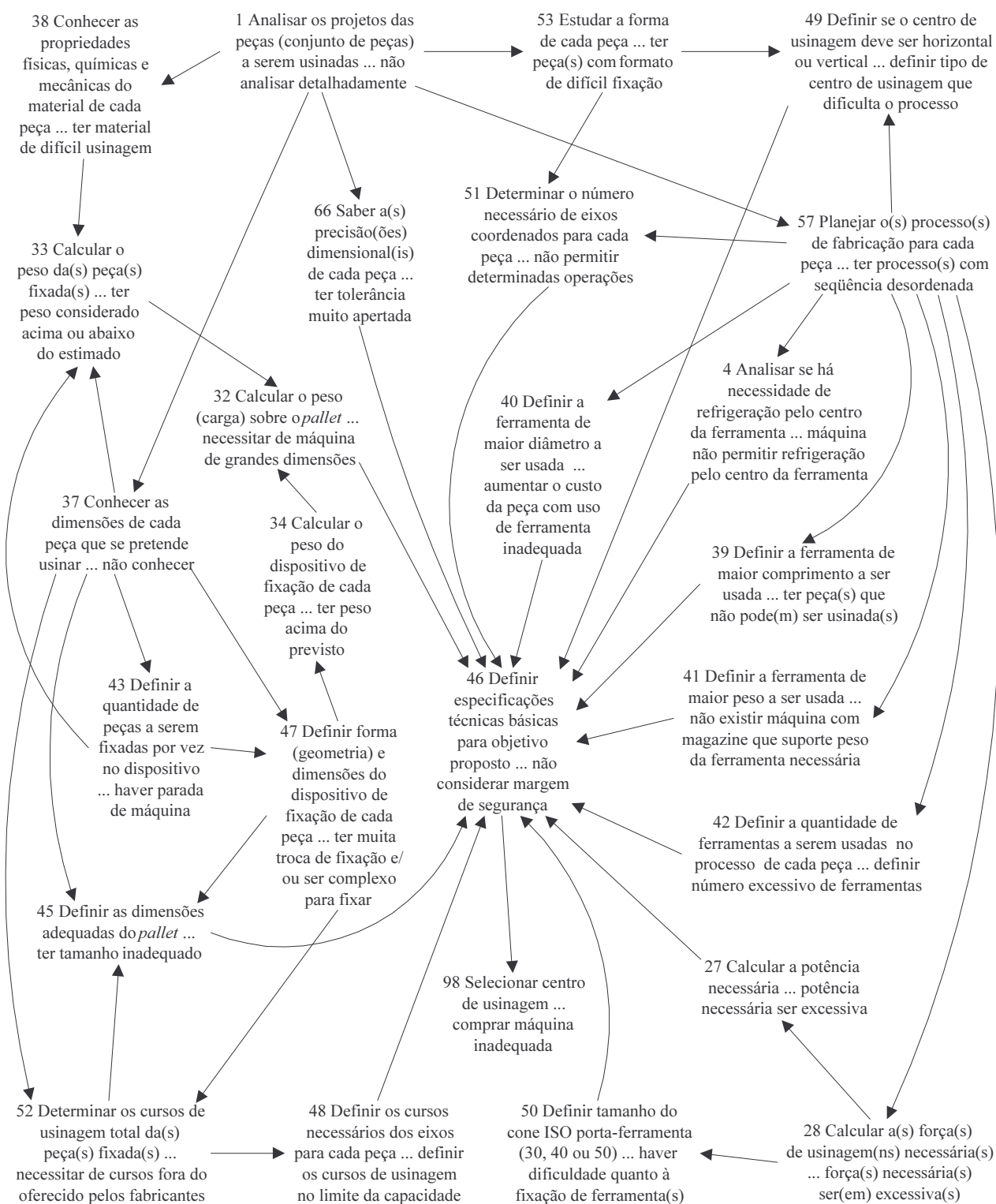


Figura 31. Conceitos que influenciam o conceito: Definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto... não considerar margem de segurança.

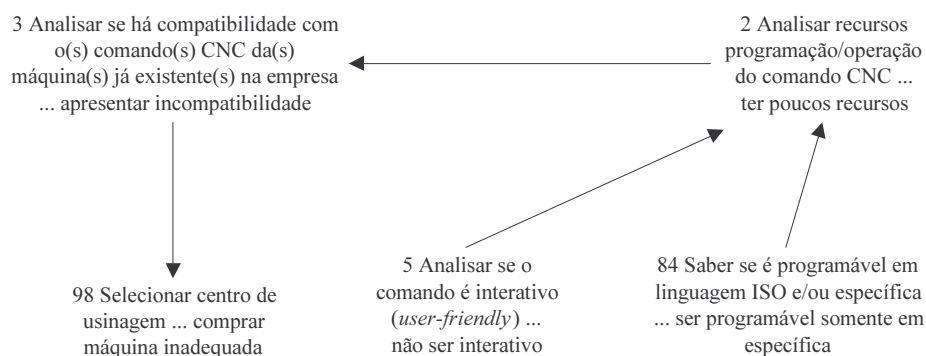


Figura 32. Conceitos que influenciam o conceito: Analisar se há compatibilidade com o(s) comando(s) CNC da(s) máquina(s) já existente(s) na empresa... apresentar incompatibilidade.

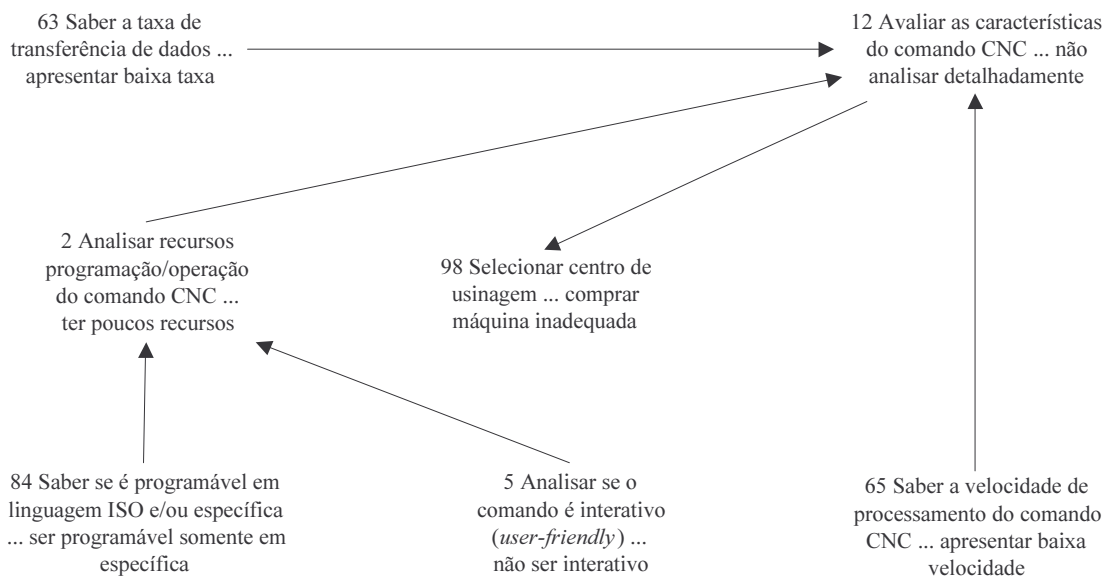


Figura 33. Conceitos que influenciam o conceito: Avaliar as características do comando CNC... não analisar detalhadamente.

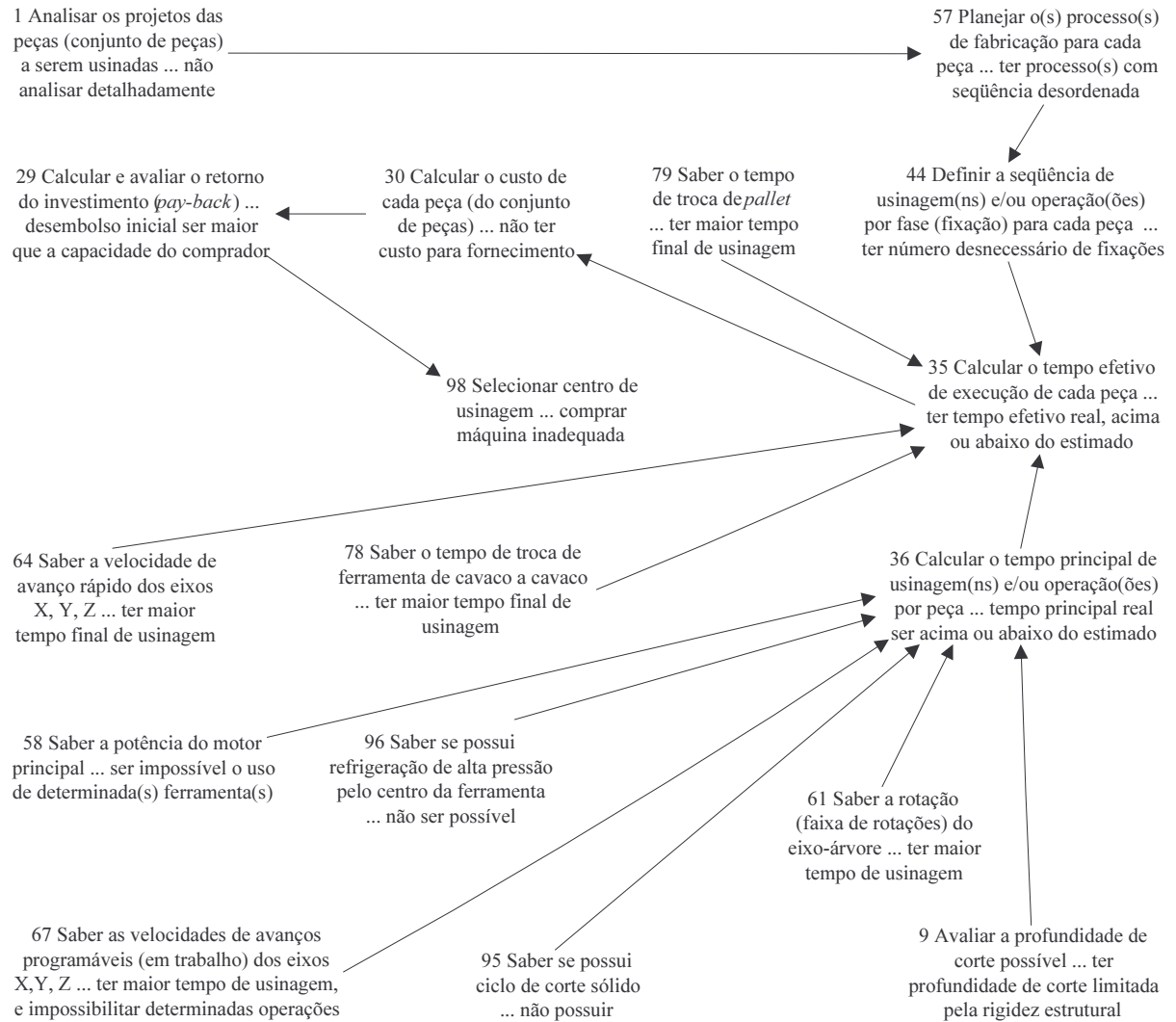


Figura 34. Conceitos que influenciam o conceito: Calcular o tempo efetivo de execução de cada peça... ter tempo efetivo real, acima ou abaixo do estimado.

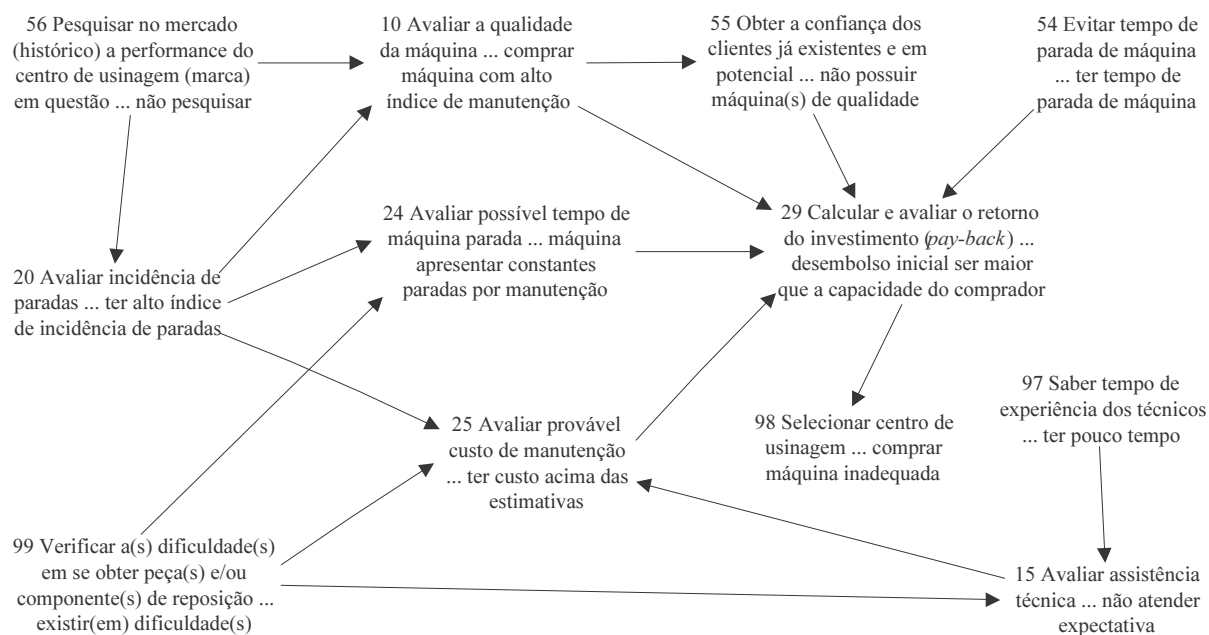


Figura 35. Conceitos que influenciam o conceito: Calcular e avaliar o retorno do investimento (pay-back)... desembolso inicial ser maior que a capacidade do comprador.

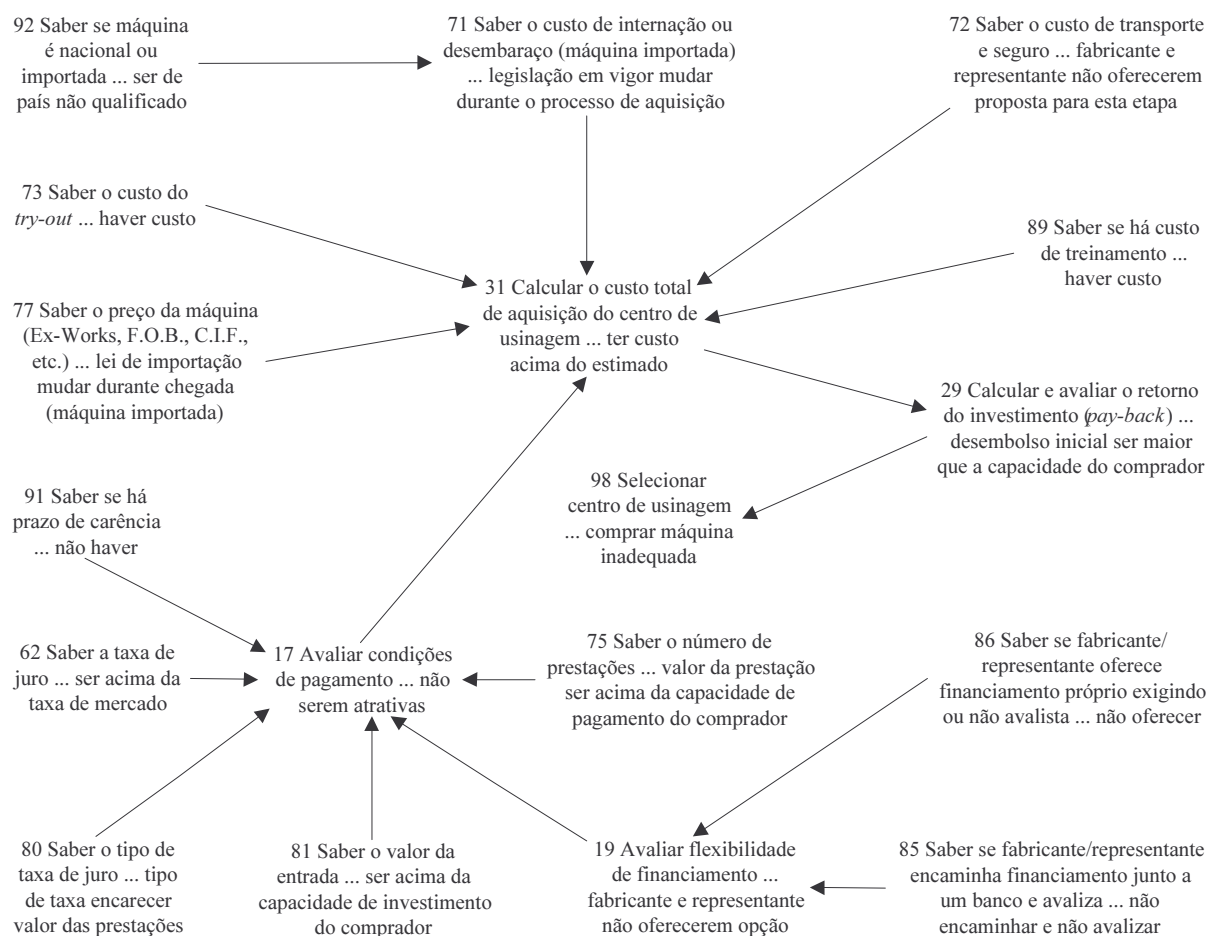


Figura 36. Conceitos que influenciam o conceito: Calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem ter custo acima do estimado.

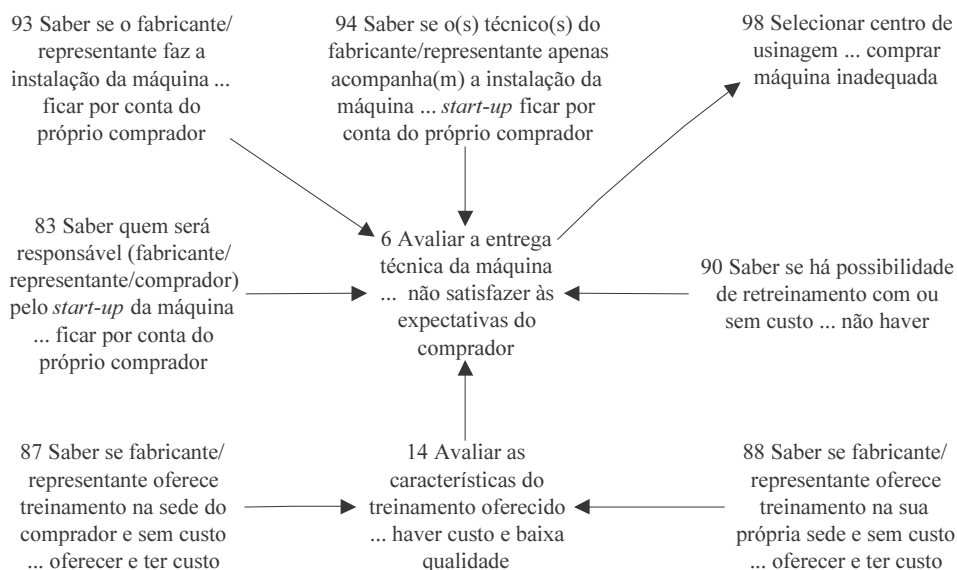


Figura 37. Conceitos que influenciam o conceito: Avaliar a entrega técnica da máquina. não satisfazer às expectativas do comprador.

O mapa cognitivo elaborado contempla inúmeros elementos de avaliação, necessitando para a identificação das áreas comuns e determinação da árvore de pontos de vista fundamentais e elementares, a especificação de cada objetivo contemplado.

Na seqüência são apresentados todos os conceitos abordados no mapa cognitivo e a explicação decorrente da relevância de cada conceito colocado. O número que antecede ao conceito explicitado refere-se a sua localização no mapa cognitivo.

1. Analisar os projetos das peças (conjunto de peças) a serem usinadas... não analisar detalhadamente

Analisar os projetos das peças (conjunto de peças) a serem usinadas, é importante para: se conhecer as propriedades físicas, químicas e mecânicas de cada peça; saber a(s) precisão(ões) dimensional(is) de cada peça e estudar a forma de cada peça (do conjunto de peças).

Ao comprar-se uma máquina voltada para um conjunto de peças de pequenas dimensões (como por exemplo, peças com respectivamente 500, 400 e 300 mm de

comprimento, largura e altura) a serem usinadas para a indústria automotiva, a análise do projeto de cada peça a ser usinada, fornecerá elementos fundamentais (técnicos), tais como: tipo de centro de usinagem (vertical ou horizontal); número necessário de eixos – a possibilidade de a peça ficar totalmente pronta com apenas uma fixação; cursos necessários de usinagem; carga sobre o *pallet*; número mínimo necessário de ferramentas que a máquina deve possuir em seu magazine; precisão (posicionamento e repetibilidade); ferramenta de maior comprimento, diâmetro e peso; tamanho do cone *ISO* porta-ferramenta (30, 40 ou 50); etc.

2. Analisar recursos programação/operação do comando CNC... ter poucos recursos

Analisar recursos programação/operação do comando CNC é importante para: analisar se há compatibilidade com o(s) comando(s) CNC da(s) máquina(s) já existente(s) na empresa e avaliar as características do comando CNC.

Os recursos de programação/operação do comando CNC serão analisados para se verificar o tipo de linguagem mais apropriada para a empresa adquirente da máquina, em função, muitas vezes, do tipo de linguagem oferecida pelo(s) comando(s) CNC da(s) máquina(s) já existente(s) na empresa. Assim, além da empresa ter um padrão (o que facilita a integração por parte dos funcionários com a linguagem admitida pelo comando CNC da máquina a ser comprada) quanto ao tipo de linguagem usada, também facilitará a integração de comunicação das máquinas com o(s) computador(es) servidor(es) de programas de usinagem, via DNC.

3. Analisar se há compatibilidade com o(s) comando(s) CNC da(s) máquina(s) já existente(s) na empresa ... apresentar incompatibilidade

Analisar se há compatibilidade com o(s) comando(s) CNC da(s) máquina(s) já existente(s) na empresa é importante para selecionar centro de usinagem.

Analisar-se-á a compatibilidade (em termos de linguagem) entre o(s) comando(s) CNC da(s) máquina(s) já existente(s) na empresa e o(s) da(s) máquina(s) a serem selecionada(s), sendo considerados dois aspectos. O primeiro é o fato de a empresa já possuir algum centro de usinagem instalado com o comando CNC tendo as mesmas características em termos de linguagem. O segundo é o caso de a empresa estar precisando de uma máquina com um comando CNC mais potente.

Com relação ao primeiro aspecto, a vantagem será o fato de os profissionais já estarem treinados (familiarizados com os macetes e as correspondentes particularidades da linguagem usada nos programas) com o comando CNC, obtendo o máximo rendimento possível sem que seja necessário um período de adaptação.

Por outro lado, com relação ao segundo aspecto, se a procura for por um comando CNC mais potente, a empresa terá que dispor de um custo inicial em treinamento e um tempo para a adaptação dos profissionais à linguagem do novo comando CNC.

Embora, às vezes, a empresa fabricante do equipamento venha a oferecer o treinamento inicial de forma gratuita, mesmo não havendo custo de forma direta, haverá um custo de forma indireta, que será decorrente do tempo necessário para a adaptação dos profissionais à linguagem do novo comando CNC. Consequentemente existirá um período transitório até que os profissionais atinjam um rendimento de forma plena.

4. Analisar se há necessidade de refrigeração pelo centro da ferramenta... máquina não permitir refrigeração pelo centro da ferramenta

Analisar se há necessidade de refrigeração pelo centro da ferramenta é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

A necessidade de refrigeração pelo centro da ferramenta depende do material da peça e do tipo de operação a ser realizada. Por exemplo, em uma certa operação que consista em se fazer furos (na peça) de grande profundidade e diâmetro, dentro das devidas proporções dimensionais da peça, muitas vezes, dependendo do material da peça, o ideal será que a refrigeração seja feita pelo centro da ferramenta.

A refrigeração sendo realizada pelo centro da ferramenta (caso seja melhor) em uma certa operação, além de proporcionar um desgaste menor da ferramenta, contribuirá para

a expulsão do cavaco, e ainda, também acarretará uma diminuição no tempo de execução da operação (pois serão usados dados de corte mais elevados em relação a uma usinagem com refrigeração externa) e conseqüentemente, no custo final de usinagem.

5. Analisar se o comando é interativo (*user-friendly*) ... não ser interativo

Analisar se o comando é interativo (*user-friendly*) é importante para analisar os recursos programação/operação do comando CNC.

A pergunta a ser feita será: o comando é amigável? Ou seja, deverá ser mais voltado para o chão de fábrica? Isto é, deverá estar mais direcionado para programação direta na máquina?

Se o comando CNC for interativo (*user-friendly*), o mesmo vai orientar o operador da máquina, passo a passo, tanto na programação quanto na execução da peça.

Caso a empresa possuir um sistema CAD/CAM não haverá necessidade do comando ser interativo, pois, os programas serão gerados no CAM e transmitidos via DNC.

6. Avaliar a entrega técnica da máquina... não satisfazer às expectativas do comprador

Avaliar a entrega técnica da máquina é importante para selecionar centro de usinagem. Para a análise da entrega técnica serão levados em consideração a instalação da máquina e o treinamento oferecido.

Quanto à instalação da máquina, poderá ser feita pelo próprio fabricante/representante ou pelo comprador da máquina, a qual poderá ou não, ser acompanhada por funcionário(s) técnico(s) do fabricante/representante.

O *start-up* da máquina poderá ser dado pelo comprador e/ou pelo(s) funcionário(s) técnico(s) do fabricante/representante.

Quanto ao treinamento oferecido, o fabricante/representante da máquina poderá oferecer treinamento na sua sede ou na do comprador, com ou sem custo. Em alguns casos o fabricante/representante não oferecerá treinamento.

Existe ainda a possibilidade do fabricante/representante oferecer retreinamento, com ou sem custo.

7. Avaliar a precisão da máquina... possuir precisão no limite do exigido

Avaliar a precisão da máquina é importante para avaliar especificações técnicas.

Além de avaliar a precisão da máquina em termos de precisão nominal (incremental, posicionamento e repetibilidade), deve-se também levar em conta o grau de rigidez estrutural da máquina, pois dependendo do mesmo, diante de certos tipos de operações, a máquina poderá vibrar ou não, e conseqüentemente, terá menor ou maior precisão em trabalho. O correto é se fazer uma pesquisa junto aos clientes do fornecedor da máquina para se verificar se a máquina garante a precisão a que se propõe, após um determinado período de uso.

Com relação à precisão nominal de posicionamento e repetibilidade, não deve ser analisada apenas a partir da precisão dimensional da peça, mas também na seqüência das operações a serem executadas na mesma, por exemplo, a precisão da máquina em retornar em um determinado ponto para se usinar com várias ferramentas, como no caso de uma série de furos escalonados de precisão em concentricidade, onde serão executados todos os furos de um único diâmetro, em seguida, todos os furos com outro diâmetro, e assim por diante.

8. Avaliar a precisão de circularidade... possuir precisão no limite do exigido

Avaliar a precisão de circularidade é importante para avaliar a precisão da máquina.

A precisão de circularidade está ligada diretamente à rigidez estrutural da máquina e à velocidade de processamento do comando CNC que dita a sincronização dos movimentos dos eixos.

Quanto à sincronização dos movimentos dos eixos, a precisão de circularidade depende do tempo de resposta dos motores de acionamento dos fusos, possibilitando a

correção das folgas mecânicas pelo CNC, tais como: folga do fuso, jogo lateral das guias, perpendicularidade entre os eixos e a linearidade da escala.

9. Avaliar a profundidade de corte possível... ter profundidade de corte limitada pela rigidez estrutural

Avaliar a profundidade de corte possível é importante para calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça.

A profundidade de corte é consequência da potência efetiva de corte da máquina, de sua rigidez estrutural, do diâmetro e da geometria (tamanho da aresta de corte, ângulo de ataque das pastilhas, hélices, ataque positivo ou negativo das pastilhas) da ferramenta utilizada. A potência efetiva de corte e a rigidez estrutural da máquina influenciam em certos tipos de operações, por exemplo: desbaste e acabamento.

Os itens avanço, velocidade de corte e profundidade de corte têm relação entre si e esse relacionamento além de outros fatores depende das propriedades físicas, químicas e mecânicas do material da ferramenta envolvida no processo.

10. Avaliar a qualidade da máquina... comprar máquina com alto índice de manutenção

Avaliar a qualidade da máquina é importante para calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*) e obter a confiança dos clientes já existentes e em potencial.

Além da qualidade da máquina refletir diretamente na qualidade da usinagem (precisão das medidas e grau de acabamento) do conjunto de peças a serem usinadas, influenciará também no rendimento obtido e no índice de manutenção.

O grau de rigidez estrutural (que se traduzirá em maior poder de arranque de cavaco e precisão) que uma máquina possui, funciona também como sinônimo de qualidade.

Comprar uma máquina de um fabricante com grande tradição no mercado é uma ótima forma de obter a confiança do cliente já existente e em potencial. No caso de se optar

por uma máquina de um fabricante sem tradição no mercado, deve-se efetuar uma pesquisa junto aos clientes desse fabricante que possuam essa máquina, para se fazer uma avaliação quanto à qualidade da mesma.

11. Avaliar a rigidez estrutural do centro de usinagem... não ter rigidez estrutural adequada

Avaliar a rigidez estrutural do centro de usinagem é importante para: avaliar a precisão de circularidade, precisão da máquina e a profundidade de corte possível (poder de arranque de cavaco da máquina).

As características inerentes ao projeto estrutural da máquina, principalmente, o dimensionamento dos elementos de máquina (coluna, base, cabeçote, guias, características de fixação dos motores, etc.) da máquina, influenciam na rigidez estrutural da mesma.

A máquina tendo uma boa rigidez estrutural evitará eventuais problemas relacionados à vibração que a mesma venha a ter durante uma remoção de cavaco.

A rigidez estrutural pode ser afetada também pelo desnivelamento da máquina, causando problemas de perpendicularismo, ocasionando assim uma baixa capacidade de suportar peso.

12. Avaliar as características do comando CNC ... não avaliar detalhadamente

Avaliar as características do comando CNC é importante para selecionar centro de usinagem.

Dependerá do interesse da empresa, ter ou não um comando mais voltado para o chão de fábrica (mais interativo). No caso, se a empresa preferir que o próprio operador possa fazer a programação na própria máquina, conforme as necessidades, o comando CNC deverá ser mais interativo. Ou ainda, se o comando for mais versátil (possibilidade de estar ligado a um microcomputador que fornecerá os programas gerados por software CAM, em *on-line*;

possibilidade de efetuar operações manuais com o programa habilitado dando seqüência ao trabalho, a partir do ponto de parada), possibilitará ao operador da máquina fazer operações manuais mediante pausa na transmissão de um programa (que está sendo executado) que ficará esperando pelo fim da operação manual, e após, dará seqüência à execução, a partir do ponto de interrupção.

Cabe salientar que a versatilidade do comando CNC em caso de parada de máquina por quebra de ferramenta, queda de energia ou qualquer outro problema também é um fator que distingue um comando de outro.

Dependendo da empresa, esta poderá optar por um tipo de comando já existente(s) em sua(s) máquina(s), fazendo com que seu(s) operador(es) não necessite(m) de reciclagem (conhecimento a respeito das características do comando CNC), para poder(em) operar outro tipo de comando.

13. Avaliar as características do material da estrutura... não avaliar

Avaliar as características do material da estrutura é importante para avaliar as características construtivas da máquina.

O ponto fundamental é avaliar se a carcaça é construída ou não na forma de monobloco e se é de ferro fundido, pois o ferro fundido tem maior poder de absorção das vibrações, ou ainda, se é de aço (chapa soldada).

14. Avaliar as características do treinamento oferecido... haver custo e baixa qualidade

Avaliar as características do treinamento oferecido é importante para avaliar a entrega técnica da máquina e saber se há custo de treinamento.

Quanto ao treinamento oferecido, o fabricante/representante da máquina poderá oferecer treinamento na sua sede ou na do comprador, com ou sem custo. Em alguns casos o fabricante/representante não oferecerá treinamento.

Existe ainda a possibilidade do fabricante/representante oferecer retreinamento, com ou sem custo.

15. Avaliar assistência técnica... não atender expectativa

Avaliar assistência técnica é importante para avaliar provável custo de manutenção e para selecionar centro de usinagem.

A avaliação da assistência técnica é um dos itens fundamentais (às vezes decisivo) no momento em que uma empresa se decidir pela aquisição de uma determinada máquina. O que se levará em consideração será a qualidade da assistência técnica: competência e agilidade dos técnicos (por exemplo, em certos casos a parada de máquina nem sempre se dá por quebra de peça(s), mas sim por erro(s) na programação, sendo um problema às vezes solucionável por telefone); tempo decorrente entre o contado com a assistência técnica e a chegada do(s) técnico(s) na empresa; disponibilidade de peças de reposição, medindo o grau de dificuldade em se obter peças de reposição (tempo levado na obtenção da peça, caso não tenha em estoque).

Às vezes uma empresa tem uma excelente máquina (tem bom referencial de mercado (histórico) em termos técnicos) para oferecer a seu futuro cliente em potencial, mas não oferece uma estrutura de assistência tecnicamente qualificada e confiante. Uma maneira de se avaliar a assistência técnica prestada por um determinado fabricante desse tipo de máquina, pode ser analisando-se o grau de satisfação dos clientes já existentes da máquina em questão.

16. Avaliar características construtivas... não avaliar

Avaliar características construtivas é importante para avaliar a rigidez estrutural do centro de usinagem.

A avaliação das características construtivas é de fundamental importância, pois a rigidez estrutural que a máquina venha a ter dependerá principalmente dos seguintes itens: dimensionamento dos elementos de máquina da máquina; peso (influência na robustez) e

qualidade do material da carcaça. Mas outros detalhes também são avaliados, tais como: tipo de guia linear (de esferas recirculantes, roletes recirculantes etc.); diâmetro do fuso de esferas recirculantes, número de sapatas, e a estrutura em geral.

17. Avaliar condições de pagamento... não serem atrativas

Avaliar condições de pagamento é importante para calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem.

A aquisição de uma ou mais máquinas (centro de usinagem) dependerá da disponibilidade de recursos disponíveis para essa aquisição. Dependendo do caso, poderá ser interessante a compra à vista ou a compra de forma parcelada, junto com um prazo de carência. É importante também, saber se o fabricante da máquina tem alguma linha de financiamento próprio, ou se a única saída é via um financiamento bancário indicado pelo fabricante.

Pelo fato de influenciarem na depreciação e no custo final da máquina, são levados em consideração também, itens como: tipos de juros; taxas de juros; número de prestações; quantia a ser adiantada; prazo de carência; etc.

18. Avaliar especificações técnicas... não ponderar adequadamente

Avaliar especificações técnicas é importante para selecionar centro de usinagem.

A avaliação das especificações técnicas é feita em cima de itens referentes a: potência do motor principal; faixa de rotação da árvore; velocidade de avanço rápido dos eixos X, Y, Z; faixa de velocidades de avanços programáveis dos eixos X, Y, Z; tempo de troca de ferramenta; tempo de troca de ferramenta de cavaco a cavaco; tempo de troca de *pallet*; características do comando CNC; velocidade de corte de rosca/velocidade de retorno (ciclo de corte sólido); saber ferramenta de maior comprimento, diâmetro e peso, que pode ser usada; saber os cursos dos eixos X, Y, Z e se permite refrigeração de alta pressão pelo centro da ferramenta.

19. Avaliar flexibilidade de financiamento... fabricante e representante não oferecerem opção

Avaliar flexibilidade de financiamento é importante para avaliar as condições de pagamento.

Dependendo do grau da flexibilidade de financiamento que o fabricante da máquina venha a oferecer, para uma empresa com pretensão de adquirir uma ou algumas máquinas, esse muitas vezes, se torna um fator decisivo durante o processo de aquisição.

O fabricante da máquina poderá oferecer financiamento próprio, exigindo ou não avalista, encaminhando o financiamento junto a um banco e avalizando ou não, para a empresa adquirente da(s) máquina(s). Em outros casos, o fabricante não oferecerá nenhuma opção de financiamento, obrigando o próprio cliente a procurar um financiamento junto a um banco.

20. Avaliar incidência de paradas... ter alto índice de incidência de paradas

Avaliar incidência de paradas é importante para: avaliar a qualidade da máquina; avaliar possível tempo de máquina parada e avaliar provável custo de manutenção.

É muito importante avaliar a incidência de paradas (histórico obtido via pesquisa de mercado, quanto à qualidade da máquina), ou seja, se a máquina costuma ser muito problemática quanto aos seus componentes eletrônicos e mecânicos, e se tais problemas podem solicitar assistência técnica e consequentemente ter máquina parada.

Cabe lembrar, que a incidência de paradas, além de acarretar tempo de máquina parada, acaba onerando o custo da hora máquina, e consequentemente, gerando com isso prejuízo e incômodos quanto ao atraso no prazo de entrega de um determinado lote de peças, influenciando de forma negativa no grau de competitividade da empresa.

21. Avaliar o dimensionamento dos componentes e da estrutura do centro de usinagem... não avaliar

Avaliar o dimensionamento dos componentes e da estrutura do centro de usinagem é importante para avaliar características construtivas.

Avaliar o dimensionamento dos componentes e da estrutura da máquina (centro de usinagem) é muito importante, pois esse dimensionamento contribuirá para a rigidez estrutural da máquina.

Cabe salientar ainda, que dependendo do grau de rigidez estrutural de um centro de usinagem, a ferramenta poderá vibrar ou não, interferindo no resultado dimensional final da peça, no acabamento da peça, bem como, na vida útil da ferramenta, pois as vibrações acabam causando lascas e quebras nas arestas de corte das ferramentas ou nos insertos intercambiáveis das mesmas.

22. Avaliar o tempo de garantia... ter pouco tempo de garantia (06 meses) e exclusão para alguns itens

Avaliar o tempo de garantia é importante para selecionar centro de usinagem.

O que interessa nessa avaliação é saber se o tempo de garantia da máquina será de 6, 12, 18 ou 24 meses e se a garantia será total ou excluída para alguns itens. Quanto maior for o tempo de garantia (de preferência se for total), maior será o benefício, já que o(s) custo(s) correspondente(s) a quaisquer eventuais problemas que venham a ocorrer, serão cobertos pelo fabricante da máquina.

23. Avaliar o tipo de guia linear utilizada na máquina... não possuir rigidez adequada

Avaliar o tipo de guia linear utilizada na máquina é importante para avaliar: a precisão da máquina e a rigidez estrutural do centro de usinagem.

Existem vários tipos de guias linear utilizadas em máquinas CNC (centro de usinagem).

Guia linear de esferas recirculantes – Esse é atualmente o tipo mais desenvolvido e de maior uso, além de ser o que apresenta maior diversidade no que tange a geometria.

Esse conceito de guia suporta cargas verticais, tanto ascendentes quanto descendentes, cargas horizontais tanto da direita quanto da esquerda, em proporções que variam de acordo com a geometria interna de cada modelo ou fabricante. O nível de ruído é baixíssimo.

A capacidade de carga está diretamente ligada não só à geometria do sistema, mas principalmente ao diâmetro das esferas, ao número de esferas efetivas (aquelas que estão em contato real com o trilho) e à área de contato esfera/trilho.

Essas guias têm uma vida útil muito longa devido ao baixo desgaste, aos movimentos suaves, regulares e precisos. Para tanto, é importante que o movimento das esferas seja de rolamento e não de deslizamento ou até mesmo uma rotação diferencial pelo contato.

Quanto à temperatura, essas guias podem trabalhar numa faixa entre -40°C e $+150^{\circ}\text{C}$.

Guia de roletes recirculantes – Trata-se de um sistema onde os roletes circulam sobre a parte externa de uma base de trilho usinado com grande precisão. Mesmo com aplicação de carga elevada, o movimento é suave e leve, sendo, portanto, adequado para máquinas que exigem grande precisão de posicionamento, repetibilidade e rigidez.

Guia de roletes transversais recirculantes – Esse sistema é bastante resistente no que se refere à deformação elástica do corpo de rolamento (bloco) quando de altas cargas, cargas flutuantes, vibrações e impactos.

Existem alguns tipos de guias que trabalham unicamente em combinação com outra guia de roletes transversais recirculantes. Essas combinações são adequadas para trabalhos em ambientes de alta temperatura, devido às dilatações.

Nessas guias existem classes de precisão que estão diretamente relacionadas com a pré-carga utilizada, ou seja, quanto maior o grau de precisão, maior a pré-carga (no entanto, isso reduz a vida útil da guia).

Guias com réguas cônicas de ajuste – suporta maior peso sem muita deformação, pois o apoio da mesa se dá em toda extensão da régua e não apenas nas sapatas de esferas. Porém, um dos pontos negativos desse tipo de régua é o de não permitir velocidade igual às obtidas com os outros tipos de réguas já mencionados.

24. Avaliar possível tempo de máquina parada... máquina apresentar constantes paradas por manutenção

Avaliar possível tempo de máquina parada é importante para calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*).

O eventual tempo de máquina parada que possa ocorrer depende muito do histórico a respeito da performance que a máquina apresenta. Para essa avaliação se faz necessária uma pesquisa no mercado, obtendo-se históricos junto às empresas que possuem a(s) máquina(s) em questão.

25. Avaliar provável custo de manutenção... ter custo acima das estimativas

Avaliar provável custo de manutenção é importante para calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*).

Esse custo de manutenção baseia-se em um provável tempo de máquina parada, que se obtém estatisticamente via pesquisa de mercado quanto à performance (histórico) do centro de usinagem em questão. A avaliação é de fundamental importância, porque caso seja necessária a chamada de um técnico para efetuar uma eventual manutenção em uma máquina com problema(s), o custo de manutenção começará a contar a partir do instante em que o técnico sai da empresa (fabricante)/representante para prestar atendimento ao cliente. Esse custo é composto por: traslado; alimentação; estadia em hotel; etc.

A pesquisa junto ao mercado também vai nos fornecer qual(is) o(s) componente(s) da máquina que geralmente costuma(m) dar problemas, e conseqüentemente, o custo do(s) mesmo(s). Deve-se considerar também o custo-hora dos técnicos que prestam tal assistência.

26. Avaliar se o prazo de entrega é adequado... entregar com atraso

Avaliar se o prazo de entrega é adequado é importante para selecionar centro de usinagem.

Às vezes, dependendo do momento, o prazo de entrega é um dos critérios fundamentais a ser levado em consideração no processo de seleção de um centro de usinagem, ou até de qualquer outra máquina que venha a ser necessária para a empresa, em razão de que a demora na entrega da máquina (o fato de não poder atender a contento um ou mais cliente(s) da empresa ou potencial(is)) também gerará custo – custo de oportunidade, ou seja, pode-se perder a concorrência para a fabricação de um lote de peças por não possuir máquina a tempo de atender o prazo de entrega das peças.

27. Calcular a potência necessária... potência necessária ser excessiva

Calcular a potência necessária é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

A potência requerida no processo de usinagem depende de uma série de fatores: material da peça; material da ferramenta; geometria do gume da ferramenta ou pastilha; faixa de rotações disponível na máquina; material da ferramenta de corte e etc. Mas, antes de se levar em conta esses fatores; é necessário saber a potência de acionamento da máquina (centro de usinagem).

A **potência de acionamento (P_a)** é a potência fornecida pelo motor à máquina. Ela difere da potência de corte pelas perdas que ocorrem por atrito nos mancais, engrenagens, sistemas de lubrificação e refrigeração, sistema de avanço, etc.

A geometria do gume da ferramenta ou pastilha influencia na potência disponível (**potência de corte P_c** que depende de P_a) que pode ser consumida na operação de remoção de cavaco. É ela que interessa nos cálculos de forças e pressões específicas de corte.

A **potência em vazio (P_o)** é a potência consumida pela máquina ligada, com o mecanismo de avanço funcionando, porém, sem que qualquer operação de corte esteja sendo executada.

O rendimento da máquina é:

$$\eta = \frac{P_c}{P_a} \cdot 100$$

Um valor médio do rendimento da máquina (centro de usinagem) é da ordem de 75%. Em altas velocidades o rendimento pode cair muito abaixo desse valor.

28. Calcular a(s) força(s) de usinagem(ns) necessária(s)... força(s) necessária(s) ser(em) excessiva(s)

Calcular a(s) força(s) de usinagem(ns) necessária(s) é importante para calcular a potência necessária e definir tamanho do cone ISO porta-ferramenta (30, 40 ou 50).

A(s) força(s) de usinagem(ns) requerida(s) está(ão) diretamente ligada(s) ao(s) tipo(s) de operação(ões) do processo de usinagem, material da peça, material da ferramenta ou pastilha, geometria da ferramenta ,etc.

Conhecendo-se a(s) força(s) de usinagem(ns) requerida(s), poderá ser calculada a potência necessária para cada tipo de operação. O maior valor da potência requerida no processo de usinagem é o que se considera para se definir a potência necessária (**potência de acionamento P_a**) que a máquina deva possuir.

29. Calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*)... desembolso inicial ser maior que a capacidade do comprado

Calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*) é importante (pois diz se o projeto é economicamente viável ou não) para selecionar centro de usinagem.

É muito importante avaliar o tempo em que se obterá o retorno do investimento. No ramo de usinagem ou de ferramentaria, um bom tempo considerado para o retorno do

investimento, gira em torno de 48 meses. Tudo depende da produtividade conseguida (maior uso, mais produção, teoricamente maior retorno), do grau de utilização da máquina e também da racionalização dos processos de usinagem de cada peça do conjunto de peças.

30. Calcular o custo de cada peça (do conjunto de peças)... não ter custo para fornecimento

Calcular o custo de cada peça (do conjunto de peças) é importante para calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*).

Esta fase é uma das mais complicadas. O custo de cada peça é função do tempo efetivo de execução da mesma em conjunto com o custo de venda da hora-máquina do serviço (usinagem). Para uma mesma peça, o custo poderá variar muito. Tudo depende da otimização do processo, dos dispositivos, do número de peças por fixação e do ferramental empregados na usinagem da peça.

31. Calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem... ter custo acima do estimado

Calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem é importante para calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*).

O custo total de aquisição de um centro de usinagem servirá como indicador para avaliar se o investimento é viável ou não, ou seja, se o retorno do investimento se dará a curto, médio ou a longo prazo.

Deverá também ser avaliado se com esse investimento a empresa poderá ampliar a sua fatia de participação no mercado, ou até mesmo, terá condições financeiras para efetuar a aquisição da(s) máquina(s) de interesse (a empresa poderá ter interesse em adquirir mais de um centro de usinagem).

32. Calcular o peso (carga) sobre o *pallet*... necessitar de máquina de grandes dimensões

Calcular o peso (carga) sobre o *pallet* é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

O cálculo do peso (carga) de cada conjunto (dispositivo de fixação mais as peças a ele fixadas) a ser colocado sobre o *pallet* é necessário para definir-se uma das especificações técnicas básicas, que será determinada quantitativamente (considerando uma margem de segurança) pelo conjunto de maior peso total (dispositivo de fixação mais as peças a ele fixadas). Sendo assim, o peso sobre o *pallet*, que a máquina deverá suportar, será sempre um fator excludente na escolha de um centro de usinagem.

33. Calcular o peso da(s) peça(s) fixada(s)... ter peso considerado acima ou abaixo do estimado

Calcular o peso da(s) peça(s) fixada(s) é importante para calcular o peso (carga) sobre o *pallet*.

Uma das especificações técnicas básicas é o peso (carga) que o *pallet* deve suportar (considerando uma margem de segurança), definido pelo conjunto (dispositivo de fixação mais as peças a ele fixadas) de maior peso.

Para se determinar a carga total de cada conjunto (dispositivo de fixação mais as peças a ele fixadas) sobre o *pallet*, é fundamental saber de antemão o peso do dispositivo de fixação de cada peça e calcular o peso total das peças fixadas ao correspondente dispositivo.

Esse dado é muito importante, pois, se o número de peças fixadas juntamente com o dispositivo de fixação exigir um centro de usinagem com uma maior capacidade de peso sobre a mesa, isso implicará na necessidade de uma máquina maior, o que conseqüentemente acarretará em um investimento maior, às vezes inviável.

Logo se deve avaliar muito bem o conjunto peça(s)/dispositivo(s) para que a empresa ao comprar uma máquina, consiga que em termos numéricos, a razão custo de aquisição/tempo de retorno do investimento, seja a maior possível.

34. Calcular o peso do dispositivo de fixação de cada peça... ter peso acima do previsto

Calcular o peso do dispositivo de fixação da(s) peça(s) é importante para calcular o peso (carga) sobre o *pallet*.

Calcular o peso do dispositivo de fixação da(s) peça(s), conhecendo-se o peso total das peças fixadas a cada um desses dispositivos, objetiva se conhecer qual o conjunto (dispositivo de fixação mais as peças a ele fixadas) que define a maior carga a ser colocada sobre o *pallet* (uma das especificações técnicas básicas), para a escolha de uma máquina que seja adequada a essa carga, considerando-se uma margem de segurança.

35. Calcular o tempo efetivo de execução de cada peça... ter tempo efetivo real, acima ou abaixo do estimado

Calcular o tempo efetivo de execução de cada peça é importante para calcular o custo de cada peça (do conjunto de peças) e definir a quantidade de peças a serem fixadas por vez no dispositivo.

Quanto maior for o número de peças fixadas por vez no dispositivo, menor será o tempo efetivo por peça.

O tempo efetivo de execução de cada peça é de fundamental importância para o cálculo do custo da peça. Além de depender do tempo principal de usinagem(ns), o tempo efetivo de execução depende também de fatores técnicos tais como: velocidade de avanço rápido dos eixos; tempo de troca de *pallet* e tempo de troca de ferramenta de cavaco a cavaco.

O que realmente irá influenciá-lo, é a maneira como foi definida a sequência de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça. Para tanto, otimizando-se a sequência de

usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça, pode-se obter um menor tempo efetivo de execução de cada peça, acarretando em um menor custo final de usinagem por peça.

36. Calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça ... tempo principal real ser acima ou abaixo do estimado

Calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça é importante para calcular o tempo efetivo de execução de cada peça.

O cálculo do tempo principal serve para se calcular o tempo efetivo de execução de uma peça. É o tempo em que ocorre a efetiva remoção de material, fazendo com que a peça se aproxime da forma final desejada. Só nessa etapa há progresso real na consecução do objetivo visado.

Esse tempo pode ser facilmente calculado em função de: velocidade de corte de avanço (que depende da rotação do eixo árvore); profundidade de corte; potência do motor principal (que influencia no volume do material a remover); ferramenta utilizada; e ainda, dependendo do tipo de operação, se a máquina possui ou não ciclo de corte sólido (exemplo, acelerar operação de rosqueamento).

Como a usinagem da(s) peça(s) é executada pela máquina via programa, o tempo principal independe da habilidade do operador.

37. Conhecer as dimensões de cada peça que se pretende usar... não conhecer

Conhecer as dimensões de cada peça que se pretende usar é importante para: calcular o peso da(s) peça(s) fixada(s); definir a quantidade de peças a serem fixadas por vez no dispositivo; definir as dimensões adequadas do *pallet*; definir forma (geometria) e dimensões do dispositivo de fixação de cada peça e determinar os cursos de usinagem total da(s) peça(s) fixada(s).

O conhecimento das dimensões de cada peça é útil para se definir se é melhor a máquina possuir mesa fixa, ou ainda, se o cabeçote deve ser horizontal (para peças grandes) ou vertical (para peças pequenas).

Além disso, se a peça for de grandes dimensões com peso excessivo, é melhor que a mesa seja fixa, e que tenha a capacidade de suportar o peso da peça, para não se ter problemas ocasionados pelo momento de inércia da peça, pois, para uma peça de grande peso tem-se problemas, dentre os quais pode-se citar exemplos como: paradas bruscas (geram problemas nos mecanismos da máquina); movimentos rápidos; contornos de precisão; etc.

Também se deve pensar, dependendo das dimensões de cada peça, no esforço necessário por parte dos motores que movimentam a mesa e o conjunto (dispositivo de fixação e as peças a ele fixadas).

38. Conhecer as propriedades físicas, químicas e mecânicas do material de cada peça... ter material de difícil usinagem

Conhecer as propriedades físicas, químicas e mecânicas do material de cada peça é importante para calcular o peso da(s) peça(s) fixada(s).

Deve-se conhecer as propriedades físicas, químicas e mecânicas do material de cada peça a ser usinada, a fim de que se possa definir os parâmetros de usinagem: avanço, profundidade de corte e rotação, que terão influência direta na potência do motor e na faixa de rotação do eixo árvore que a máquina deve possuir no mínimo.

Também em função dessas propriedades, pode-se definir uma ferramenta ou pastilha de material mais adequado, com o objetivo de facilitar o processo de usinagem.

39. Definir a ferramenta de maior comprimento a ser usada... ter peça(s) que não pode(m) ser usinada(s)

Definir a ferramenta de maior comprimento a ser usada é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

Todos os centros de usinagem disponíveis no mercado possuem um limite de comprimento para as ferramentas dispostas no magazine.

A definição da ferramenta de maior comprimento a ser usada dependerá da geometria (por exemplo, dimensão da profundidade de furo) e das operações necessárias em cada peça.

O número de fixações da peça também pode influenciar no comprimento da ferramenta, como por exemplo: para se reduzir uma fixação aumenta-se o comprimento da ferramenta para se atingir uma determinada região da peça na qual não seria possível sem uma outra fixação.

A não observação do número de fixações pode acarretar na compra de um centro de usinagem que não possibilita o uso da ferramenta de comprimento necessário para a usinagem da peça. Com isso será necessário um número maior de fixação para a usinagem completa da peça e conseqüentemente um maior tempo de usinagem ou nos piores casos a impossibilidade de usinar determinadas peças ou de realizar certos tipos de operações.

40. Definir a ferramenta de maior diâmetro a ser usada... aumentar o custo da peça com uso de ferramenta inadequada

Definir a ferramenta de maior diâmetro a ser usada é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

A definição da ferramenta de maior diâmetro a ser usada dependerá da geometria e das operações necessárias em cada peça. Em certas situações, quanto maior for o diâmetro da ferramenta, maior será o volume de cavaco a ser arrancado, bem como menor será o

deslocamento da ferramenta na usinagem de uma determinada superfície, proporcionando assim, uma diminuição no tempo efetivo de execução da peça.

41. Definir a ferramenta de maior peso a ser usada... não existir máquina com magazine que suporte peso da ferramenta necessária

Definir a ferramenta de maior peso a ser usada é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

A definição do peso das ferramentas quase sempre será em função da necessidade de se reduzir o número de deslocamentos efetuados em cada operação, pois quanto maior e mais robusta for a ferramenta exigida pela usinagem, maior será seu arranque de cavaco e consequentemente, menor será o tempo necessário para uma determinada remoção de material.

O centro de usinagem a ser adquirido deverá comportar essa ferramenta de maior peso em seu magazine, bem como ter robustez e potência suficientes para que possam ser executadas as usinagens previstas com essa ferramenta.

42. Definir a quantidade de ferramentas a serem usadas no processo de cada peça... definir número excessivo de ferramentas

Definir a quantidade de ferramentas a serem usadas no processo de cada peça é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

O número de ferramentas utilizadas em um determinado processo de usinagem (que é decorrente do planejamento das operações a serem executadas) dependerá do grau de complexidade da peça e do número de operações de usinagem da mesma.

Portanto, a análise do processo de usinagem é indispensável para que possamos determinar o número de ferramentas necessárias para se usar totalmente uma determinada peça e assim, escolher um centro de usinagem que comporte tal quantidade.

43. Definir a quantidade de peças a serem fixadas por vez no dispositivo... haver parada de máquina

Definir a quantidade de peças a serem fixadas por vez no dispositivo é importante para: calcular o peso da(s) peça(s) fixada(s); definir forma (geometria) e dimensões do dispositivo de fixação de cada peça e evitar tempo de parada de máquina.

A quantidade de peças a serem fixadas por vez no dispositivo de fixação da(s) peça(s) é definida com dois objetivos: para determinar forma (geometria) e dimensões do dispositivo, o que implicará na determinação dos cursos de usinagem total das peça(s) fixada(s) e para evitar parada de máquina, que ocorrerá quando todas as peças sobre o dispositivo de fixação que está dentro da cabine, já estiverem sido usinadas antes que o operador consiga carregar o outro *pallet*.

44. Definir a seqüência de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por fase (fixação) para cada peça... ter número desnecessário de fixações

Definir a seqüência de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por fase (fixação) para cada peça é importante para calcular o tempo efetivo de execução de cada peça.

A definição da seqüência de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por fase (fixação) para um conjunto de peças, será útil no que diz respeito ao rendimento e à qualidade do serviço. Quanto ao rendimento, às vezes, a simples troca de operação (furação, faceamento, desbaste, pré-acabamento, acabamento, etc.) em uma seqüência de usinagem, poderá acarretar na diminuição do avanço de usinagem da ferramenta que irá executar a operação seguinte, ocorrendo com isso, um aumento no tempo efetivo de execução de cada peça.

Quanto à qualidade do serviço, esta poderá ser afetada. Por exemplo, no caso onde houver uma peça em que se faça um furo na sua superfície bruta antes de faceá-la, a broca poderá se desviar do centro do furo.

Não deverá ser esquecido de sempre que possível, confeccionar-se ferramentas especiais com as quais (com a mesma ferramenta) seja possível executar um certo número de operações, obtendo com isso uma sensível redução no tempo de usinagem de cada peça.

45. Definir as dimensões adequadas do *pallet*... ter tamanho inadequado

Definir as dimensões adequadas do *pallet* é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

Quando se fala em *pallet*, trata-se de uma mesa móvel, mas porém, com dimensões inferiores a de uma mesa fixa.

A definição das dimensões adequadas do *pallet* depende da análise das dimensões de cada peça (do conjunto de peças) e também das dimensões e forma (geometria) do dispositivo de fixação correspondente a essas peças. O *pallet* deverá ter as dimensões de forma que se possa fixar sobre o mesmo qualquer dispositivo correspondente a esse conjunto de peças.

46. Definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto... não considerar margem de segurança

Definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto é importante para selecionar centro de usinagem.

As especificações técnicas básicas a serem definidas vão de encontro ao objetivo de selecionar um centro de usinagem com a função de usinar um conjunto de peças de pequenas dimensões para a indústria automobilística, com a qualidade assegurada para o cliente, conforme acordado. É importante mencionar-se que dependendo da quantidade de peças a serem fornecidas deverá se comprar uma ou mais máquina(s).

O centro de usinagem a ser adquirido poderá ser vertical ou horizontal, dependendo da análise do projeto de cada peça, quanto à sua geometria (forma) e dimensões.

A máquina candidata à análise deverá atender às seguintes especificações técnicas básicas (excludentes), tais como: dimensões necessárias da mesa (mesa fixa ou móvel); peso sobre a mesa; cursos necessários dos eixos; precisão mínima; número necessário de eixos; potência necessária; tamanho do cone ISO porta-ferramenta (30, 40 ou 50); ferramenta de maior diâmetro a ser usada; ferramenta de maior peso a ser usada; ferramenta de maior comprimento a ser usada; quantidade de ferramentas (presentes no magazine) a serem usadas no processo de usinagem do conjunto de peças; tipo de guia linear mais apropriada; e se é possível a refrigeração pelo centro da ferramenta, caso seja necessário.

47. Definir forma (geometria) e dimensões do dispositivo de fixação de cada peça... ter muita troca de fixação e/ou ser complexo para fixar

Definir forma (geometria) e dimensões do dispositivo de fixação da(s) peça(s) é importante para: calcular o peso do dispositivo de fixação da(s) peça(s); definir as dimensões adequadas do *pallet* e determinar os cursos de usinagem total da(s) peça(s) fixada(s).

A definição da forma (geometria) e dimensões do dispositivo de fixação de cada peça estará diretamente ligada às características (geometria) de cada peça (do conjunto de peças) a ser usinada, em que se utilizarão os pontos de referência de apoio, estabelecidos com o cliente, para a fixação da peça sobre o dispositivo de fixação da mesma.

O passo seguinte será conhecer as áreas a serem usinadas (de cada peça) e também os pontos de fixação de cada peça sobre o correspondente dispositivo de fixação. Deverá ser procurada uma posição de fixação para cada peça (do conjunto de peças), de maneira que possibilite o maior número de operações possíveis, sem que haja troca de posição.

Ademais, o dispositivo de fixação deve ser dimensionado de forma a possibilitar uma usinagem segura (sem vibrações e sem perigo de ser danificado com o esforço da usinagem). Tal dimensionamento é imprescindível para se calcular o peso do dispositivo de fixação da(s) peça(s).

48. Definir os cursos necessários dos eixos para cada peça... definir os cursos de usinagem no limite da capacidade

Definir os cursos necessários dos eixos para cada peça é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

Primeiramente, deverão ser definidos os cursos necessários dos eixos para cada peça do conjunto de peças. Com isso, será determinado o curso total de usinagem para todas as peças fixadas no correspondente dispositivo de fixação.

A máquina (centro de usinagem) a ser escolhida deverá possuir os cursos dos seus eixos, de modo que satisfaçam os cursos de usinagem de cada dispositivo de fixação junto com as peças a ele fixadas.

49. Definir se o centro de usinagem deve ser horizontal ou vertical... definir tipo de centro de usinagem que dificulta o processo

Definir se o centro de usinagem deve ser horizontal ou vertical é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

Quanto à necessidade de o centro de usinagem a ser adquirido ser horizontal ou vertical, dependerá do resultado da análise do projeto de cada peça (do conjunto de peças), quanto à sua geometria (forma) e dimensões. Exemplo: suponha uma peça com comprimento e largura demasiadamente grandes, mas com pequena espessura. Nesse caso, se for necessário fazer alguns furos lateralmente, então a maneira mais apropriada será a utilização de um centro de usinagem horizontal.

50. Definir tamanho do cone ISO porta-ferramenta (30, 40 ou 50)... haver dificuldade quanto à fixação de ferramenta(s)

Definir tamanho do cone ISO porta-ferramenta (30, 40 ou 50) é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

O tamanho do cone ISO (30, 40 ou 50) porta ferramenta, estará ligado diretamente à potência de acionamento que a máquina deverá fornecer. No caso em que para se usar o conjunto de peças em questão seja requerido um centro de usinagem com cone ISO porta-ferramenta 40, a potência de acionamento poderá variar de 9,0 a 25 HP (dependendo do fabricante). Para o caso de uma ferramenta mais robusta também será necessário um cone ISO maior.

51. Determinar o número necessário de eixos coordenados para cada peça... não permitir determinadas operações

Determinar o número necessário de eixos coordenados para cada peça é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

O número necessário de eixos coordenados para cada peça (do conjunto de peças) estará diretamente ligado ao grau de complexidade das mesmas e ao número de fixações de cada peça ao seu respectivo dispositivo de fixação. Por exemplo, para se usar um canal tipo hélice em um eixo cilíndrico, haverá a necessidade de um quarto eixo (giratório).

O número necessário de eixos coordenados que o centro de usinagem a ser escolhido deverá ter, corresponderá ao número necessário de eixos coordenados que a peça (do conjunto de peças) necessitaria para ser usinada.

Em alguns casos com um outro dispositivo de fixação conseguimos eliminar a necessidade de mais um eixo coordenado, porém haverá um aumento no tempo efetivo de cada peça e conseqüentemente um aumento no custo de cada peça. Nestes casos deve-se calcular o tempo necessário para se amortizar o custo de aquisição de mais um eixo coordenado e com isso analisar a relação custo-benefício.

52. Determinar os cursos de usinagem total da(s) peça(s) fixada(s)... necessitar de cursos fora do oferecido pelos fabricantes

Determinar os cursos de usinagem total da(s) peça(s) fixada(s) é importante para definir as dimensões adequadas do pallet e definir os cursos necessários dos eixos para cada peça.

Os cursos de usinagem total da(s) peça(s) fixada(s) dependerão das dimensões do dispositivo de fixação, que por sua vez dependerá dos cursos de usinagem de cada peça e do número de peças a ele fixadas, de forma racional, evitando tempo de parada de máquina.

O problema, que às vezes ocorre, está em comprar-se um centro de usinagem com os cursos dos eixos além do necessário. E pior do que isso é comprar-se uma máquina com os cursos dos eixos menor do que o necessário.

A máquina (centro de usinagem) a ser escolhida deverá possuir os cursos dos seus eixos, de modo que satisfaçam os cursos necessários de usinagem dos eixos para cada dispositivo de fixação com as peças a ele fixadas.

53. Estudar a forma de cada peça... ter peças com formato de difícil fixação

Estudar a forma de cada peça é importante para definir se o centro de usinagem deve ser horizontal ou vertical e determinar o número necessário de eixos coordenados para cada peça.

O estudo da forma de cada peça é importante, principalmente, para se definir o tipo de centro de usinagem mais apropriado: horizontal ou vertical, que dependerá do resultado da análise do projeto de cada peça (do conjunto de peças) quanto à sua geometria (forma) e dimensões.

É também importante para se definir outros itens inerentes ao centro de usinagem (por exemplo, o número necessário de eixos coordenados), ao conjunto de peças (a maneira mais adequada de fixação de cada peça em seu correspondente dispositivo de fixação e a

quantidade de peças a serem fixadas de forma a evitar tempo de parada de máquina) e a(s) característica(s) da(s) ferramenta(s) usada(s) no(s) processo(s).

54. Evitar tempo de parada de máquina... ter tempo de parada de máquina

Evitar tempo de parada de máquina é importante para calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*).

Existirá tempo de parada de máquina quando todas as peças sobre o dispositivo de fixação que está dentro da cabine, já estiverem sido usinadas antes que o operador consiga carregar o outro *pallet*.

Contrastando o tempo de máquina parada (que se dá por problemas de manutenção ou por ociosidade) com o tempo de parada de máquina, esse último é sempre consequência da definição de forma não racional da quantidade de peças a serem fixadas por vez no dispositivo de fixação da(s) peça(s). Sendo assim, para cada peça do conjunto de peças, a quantidade de peças a serem fixadas por vez no seu correspondente dispositivo de fixação, deverá ser tal que não exista tempo de parada de máquina.

55. Obter a confiança dos clientes já existentes e em potencial... não possuir máquina(s) de qualidade

Obter a confiança dos clientes já existentes e em potencial é importante para calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*).

Ao adquirir-se um ou mais centro(s) de usinagem de boa qualidade de fabricante com tradição no mercado, além de ganhar-se a confiança dos clientes já existentes, também demonstra para eles e outros potenciais clientes, a preocupação da empresa no investimento em tecnologia (aquisição de um centro de usinagem ideal), o que acarreta na fabricação de peças com uma boa qualidade e com um menor custo de mercado.

Fazendo isso, a empresa estará se atualizando tecnologicamente, e satisfazendo ao mesmo tempo as reais necessidades de seus clientes, que é um dos fatores determinantes para a sua sobrevivência em um mercado extremamente competitivo.

56. Pesquisar no mercado (histórico) a performance do centro de usinagem (marca) em questão... não pesquisar

Pesquisar no mercado (histórico) a performance do centro de usinagem (marca) em questão é importante para avaliar a qualidade da máquina e avaliar incidência de paradas.

Após escolhidas as possíveis máquinas (tipos de centros de usinagem) que possam satisfazer as necessidades da empresa, deve-se partir para uma pesquisa de mercado junto a empresas que possuam a mesma máquina (da marca em questão), a fim de se obter informações, quanto à performance da máquina, traduzidas por parâmetros que influenciarão diretamente no retorno do investimento.

Os principais parâmetros que deverão ser levados em consideração nessa pesquisa de mercado para se chegar-se à melhor escolha são os seguintes: quantidade de vezes em que ocorrem problemas técnicos com a mesma em um determinado período (necessidade de muita manutenção); desempenho frente a certos tipos de usinagem; capacidade da máquina para realizar o que é anunciado e dito, respectivamente, pelo catálogo e pelo vendedor da máquina; e a assiduidade do fabricante da máquina em relação à assistência técnica.

57. Planejar o(s) processo(s) de fabricação para cada peça... ter processo(s) com seqüência desordenada

Planejar o(s) processo(s) de fabricação para cada peça é importante para: analisar se há necessidade de refrigeração pelo centro da ferramenta; avaliar o dimensionamento dos componentes e da estrutura do centro de usinagem; definir a ferramenta de maior comprimento a ser usada; definir a ferramenta de maior diâmetro a ser usada; definir a ferramenta de maior peso a ser usada; definir a quantidade de ferramentas a serem usadas no processo de cada peça; definir a seqüência de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por fase (fixação) para cada peça; definir se o centro de usinagem deve ser horizontal ou vertical e determinar o número necessário de eixos coordenados para cada peça.

O planejamento do(s) processo(s) de fabricação para cada peça a ser usinada é consequência da análise do projeto das mesmas. Fixa-se uma seqüência de usinagem(ns) e/ou operação(ões), que terá influência direta no tempo efetivo de execução da peça. Além disso, o planejamento do(s) processo(s) de fabricação da(s) peça(s) influencia na definição do tipo (horizontal ou vertical) de centro de usinagem, no número necessário de eixos coordenados, no número de *pallets* (com ou sem mesa giratória), no número de ferramentas a serem usadas no processo e na determinação das ferramentas de maior comprimento, diâmetro e peso, respectivamente, a serem usadas.

Deve-se salientar que muitas vezes o custo de aquisição dos recursos disponíveis (mesa giratória, número de *pallets*, número de ferramentas no magazine, número de eixos coordenados e etc.) em uma máquina CNC (centro de usinagem) pode tornar os investimentos necessários inviáveis, se analisarmos este, sob a ótica custo/benefício.

58. Saber a potência do motor principal... ser impossível o uso de determinada(s) ferramenta(s)

Saber a potência do motor principal é importante para avaliar especificações técnicas e calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça.

A potência do motor principal é consequência da potência de corte necessária para cada peça a ser usinada. Essa potência de corte é calculada durante o planejamento do(s) processo(s) de fabricação para cada peça, e depende de itens como: tipo de material da peça e da ferramenta, diâmetro e geometria da ferramenta, número de dentes, velocidade de corte, avanço por dente, profundidade de corte, geometria da pastilha e outros. Ou seja, quanto maior for o diâmetro da ferramenta, a profundidade de corte, a velocidade de corte e o avanço, por dente maior será essa potência de corte.

59. Saber a precisão de posicionamento... possuir precisão no limite do exigido

Saber a precisão de posicionamento é importante para avaliar a precisão da máquina.

A precisão de posicionamento de uma máquina é a capacidade que ela tem para deslocar e parar a ferramenta o mais próximo possível do ponto programado.

Quando nos deparamos com peças que possuam uma tolerância apertada de medidas, tanto em distância entre furos como nas dimensões efetivas da mesma, é de suma importância que sejam observadas as tolerâncias estabelecidas na peça para que possamos escolher um centro de usinagem que atenda à essas tolerâncias, dando nos sempre uma certa margem de segurança, ou seja, a máquina tem que dispor de uma maior precisão de posicionamento do que a tolerância exigida na peça.

60. Saber a precisão de repetibilidade... possuir precisão no limite do exigido

Saber a precisão de repetibilidade é importante para avaliar a precisão da máquina.

A precisão de repetibilidade de uma máquina é a capacidade que ela tem de repetir a parada no mesmo ponto após ter feito diversos deslocamentos.

Nos casos de peças que possuam uma determinada precisão nas coordenadas é imprescindível que a máquina possua uma precisão de repetibilidade que atenda às tolerâncias estabelecidas na peça. Exemplo: uma série de furos escalonados de precisão, onde cada seqüência de usinagem determina um diâmetro de furo, a precisão de repetibilidade da máquina tem que ser superior à precisão de concentricidade (furos em um mesmo centro) dos furos, caso contrário, pode-se obter em um determinado período de usinagem um lote de peças boas e um lote de peças refugadas.

61. Saber a rotação (faixa de rotações) do eixo-árvore... ter maior tempo de usinagem

Saber a rotação (faixa de rotações) do eixo-árvore é importante para avaliar especificações técnicas e calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça.

A rotação (faixa de rotações) do eixo-árvore é uma das especificações técnicas a serem avaliadas para a seleção de um centro de usinagem, pois influencia diretamente no cálculo do tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça. É importante se conhecer a rotação para poder definir-se o avanço, a profundidade de corte e o material constituinte para o tipo de ferramenta e/ou pastilha a ser usada.

A rotação varia também em função do diâmetro da ferramenta e resistência dos insertos de metal duro utilizados por ela. Quanto menor a ferramenta e mais resistente for o inserto do metal duro, maior será a rotação a ser usada no eixo-árvore. Quando não é utilizada a rotação adequada (rotação inferior a adequada) no eixo-árvore, tem-se que diminuir o avanço e, conseqüentemente, haverá um acréscimo no tempo de usinagem bem como, um desgaste muito maior dos insertos de metal duro.

62. Saber a taxa de juro... ser acima da taxa de mercado

Saber a taxa de juro é importante para avaliar condições de pagamento.

Na aquisição de um ou mais centro(s) de usinagem por meio de financiamento é necessário que se conheçam as várias opções de pagamento, para se decidir por aquela que apresente a menor taxa de juro e a melhor condição de pagamento, o que influenciará no cálculo do custo do total de aquisição do centro de usinagem.

63. Saber a taxa de transferência de dados... apresentar baixa taxa

Saber a taxa de transferência de dados é importante para avaliar as características do comando CNC.

A taxa de transferência de dados é importante ser avaliada, pois é uma das características do comando CNC. Ela influenciará no acabamento e no tempo de usinagem e dependerá do tipo de programa que será executado e do desvio cordal do mesmo (diferença entre a superfície teórica e a superfície de usinagem). Quanto maior o desvio cordal, mais importante se tornará que a taxa de transferência seja a maior possível.

64. Saber a velocidade de avanço rápido dos eixos X, Y, Z... ter maior tempo final de usinagem

Saber a velocidade de avanço rápido dos eixos X, Y, Z é importante para avaliar especificações técnicas e calcular o tempo efetivo de execução de cada peça.

A velocidade de avanço rápido dos eixos X, Y, Z determinará o tempo que a ferramenta levará para entrar em contato com a peça, a partir do momento que a mesma for trocada, ou entre troca de áreas (sobre uma mesma peça) a serem usinadas.

É importante se analisar os avanços rápidos dos eixos X, Y, Z da máquina; o peso da(s) peça(s) fixada(s) e do dispositivo de fixação da(s) peça(s). Se o peso do conjunto for elevado não será aconselhável trabalhar com avanços elevados, pois poderá danificar a máquina devido à inércia. Logo, o ideal seria a escolha de um centro de usinagem com regulagem do avanço rápido independente do avanço de usinagem.

65. Saber a velocidade de processamento do comando CNC... apresentar baixa velocidade

Saber a velocidade de processamento do comando CNC é importante para avaliar as características do comando CNC.

A importância em se avaliar a velocidade de processamento do comando CNC está no fato que ela influenciará no cálculo do tempo efetivo de execução de cada peça.

Essa velocidade de processamento do comando CNC está relacionada com o *clock* interno (frequência) com que o microprocessador processa os dados, influenciando na taxa de transferência de dados.

A velocidade do processamento do comando CNC influencia diretamente no tempo de execução de peças que possuam superfícies complexas ou que tenham uma grande demanda de operações, onde os deslocamentos de usinagens são muito pequenos e a velocidade do processamento não consegue vencer o avanço ideal de usinagem, sendo necessário a diminuição do avanço para se obter um bom acabamento na superfície da peça.

66. Saber a(s) precisão(ões) dimensional(is) de cada peça ... ter tolerância muito apertada

Saber a(s) precisão(ões) dimensional(is) de cada peça é importante para definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto.

É importante saber a(s) precisão(ões) dimensional(is) de cada peça pois definirá uma das especificações técnicas básicas que influenciará na precisão mínima que a máquina (centro de usinagem) deverá ter para que possa usinar qualquer elemento do conjunto de peças.

67. Saber as velocidades de avanços programáveis (em trabalho) dos eixos X, Y, Z... ter maior tempo de usinagem, e impossibilitar determinadas operações

Saber as velocidades de avanços programáveis (em trabalho) dos eixos X, Y, Z é importante para avaliar especificações técnicas e calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça.

A importância em se avaliar a velocidade de avanços programáveis (em trabalho) dos eixos X, Y, Z, está no fato de que ela faz parte do conjunto de avaliação das especificações técnicas. Também é necessário para se conhecer o limite da velocidade avanço a ser definida, que irá influenciar diretamente no tempo efetivo de execução de cada peça.

É interessante salientar-se que em alguns casos é desnecessário um avanço muito elevado. Por exemplo, em casos onde o peso sobre a mesa é elevado não se pode utilizar 100% do avanço, pois, corre-se o risco de danificar a máquina pelo fator inércia.

68. Saber ferramenta de maior comprimento que pode ser usada... não poder usar ferramenta adequada

Saber ferramenta de maior comprimento que pode ser usada é importante para avaliar especificações técnicas.

Saber a ferramenta de maior comprimento que poderá ser usada na máquina faz parte do conjunto de avaliação das especificações técnicas. Essa informação será usada para verificar se a máquina poderá utilizar a ferramenta de maior comprimento, definida para o processo de usinagem de uma ou mais peças que venham a necessitá-la.

69. Saber ferramenta de maior diâmetro que pode ser usada... não poder usar ferramenta adequada

Saber ferramenta de maior diâmetro que pode ser usada é importante para: avaliar especificações técnicas; e calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça.

Saber a ferramenta de maior diâmetro que poderá ser usada na máquina é importante porque faz parte do conjunto de avaliação das especificações técnicas e também influencia no tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça. Essa informação será usada para verificar se a máquina poderá utilizar a ferramenta de maior diâmetro, definida para o processo de usinagem de uma ou mais peças que venham a necessitá-la.

70. Saber ferramenta de maior peso que pode ser usada... não suportar ferramenta adequada

Saber ferramenta de maior peso que pode ser usada é importante para avaliar especificações técnicas.

Saber a ferramenta de maior peso que poderá ser usada na máquina, faz parte do conjunto de avaliação das especificações técnicas. Essa informação será usada para verificar se a máquina poderá utilizar a ferramenta de maior peso, definida para o processo de usinagem de uma ou mais peças que venham a necessitá-la.

71. Saber o custo de internação ou desembaraço (máquina importada) legislação em vigor mudar durante o processo de aquisição

Saber o custo de internação ou desembaraço (máquina importada) é importante para calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem.

Se a máquina for importada é de fundamental importância conhecer o custo de internação ou desembaraço, pois, influenciará de maneira direta no custo total de aquisição da máquina. O custo de internação dependerá do tempo necessário para a liberação do produto na alfândega. Existe uma dificuldade de se mensurar esses custos de forma precisa, em virtude das variáveis inerentes a todo o processo de desembaraço. O que na realidade é feito é considerar um custo médio, baseado em históricos de compras anteriores.

72. Saber o custo de transporte e seguro... fabricante e representante não oferecerem proposta para esta etapa

Saber o custo de transporte e seguro é importante para calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem.

A questão é saber se o transporte e/ou seguro ficará ou não por conta do comprador da máquina. É muito importante que seja abordada essa questão para que o comprador não seja surpreendido com gastos extras relativos a transporte e seguro.

73. Saber o custo do *try-out*... haver custo

Saber o custo do *try-out* é importante para calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem.

Ao se adquirir um centro de usinagem, é feito um *try-out*, ou seja, é realizada a usinagem de um lote piloto de peças no fabricante e depois também na fábrica do comprador da máquina (ao invés de um lote piloto de peças, o *try-out* poderá apenas ser a usinagem de uma peça padrão definida pelo comprador da máquina).

O *try-out* serve para verificar se as informações contidas no catálogo se reproduzem na prática, através de medições efetuadas com instrumentos. Normalmente se usa uma peça padrão (*master*) para confirmar se a máquina atinge às precisões dimensionais de acordo com o programado. Hoje em dia o ajuste da máquina é feito junto ao fabricante para que a mesma possa alcançar os valores de catálogo. É muito importante também que a peça *master* seja

bastante complexa para que force a utilização de todos os recursos da máquina no seu processo de usinagem.

É imprescindível que sejam feitos testes de operações isoladas exigindo um esforço maior de usinagem para uma análise completa da máquina e para testar a capacidade da mesma.

Dependendo do fabricante ou do potencial do comprador da máquina, poderá ou não haver custo do *try-out*.

74. Saber o incremento mínimo (resolução)... não possuir resolução para atender a fabricação da(s) peça(s)

Saber o incremento mínimo (resolução) é importante para avaliar a precisão da máquina.

O incremento mínimo (resolução) que se tem na escala da máquina é a menor divisão da escala da máquina. Quanto menor for o incremento mínimo, maior será a precisão da máquina, sendo necessária maior precisão no ajuste e controle das guias lineares e fusos, bem como uma maior precisão do comando CNC para que se possível um deslocamento equivalente a esse incremento.

Dessa forma, conhecer o incremento mínimo (resolução) da máquina irá contribuir de forma significativa para a avaliação da precisão da máquina em questão no seu todo.

75. Saber o número de prestações... valor da prestação ser acima da capacidade de pagamento do comprador

Saber o número de prestações é importante para avaliar condições de pagamento.

Ao se adquirir um ou mais centro(s) de usinagem bem como qualquer outro equipamento que venha a ser comprado por uma fábrica, se estes forem financiados (como

fator de preferência do comprador) a parte econômica referente ao número de prestações também será de fundamental importância e merecerá uma atenção especial.

A atratividade que a empresa compradora tiver em relação ao número de prestações estabelecidas nas condições de pagamento dependerá da disponibilidade de seu caixa. Às vezes, mesmo que uma empresa tenha condições de efetuar o pagamento de uma máquina mediante um número pequeno de parcelas, é preferível pagá-la com um número maior de parcelas, não afetando assim o seu capital de giro.

76. Saber o peso da máquina... ter baixo peso

Saber o peso da máquina é importante para avaliar a rigidez estrutural do centro de usinagem.

O peso da máquina, juntamente com as suas dimensões, influencia diretamente na rigidez estrutural da máquina, que é importante para a avaliação da rigidez estrutural do centro de usinagem. Isso porque, o peso é um fator associado ao dimensionamento dos componentes e da estrutura da máquina, como por exemplo, dimensionamento das nervuras de reforço inerentes à estrutura da carcaça da máquina. O peso também está ligado com a qualidade do material usado na fabricação da máquina (compactação do material)

Cada fornecedor possui um padrão de dimensões e peso para as suas máquinas. Tais padrões variam de acordo com os tamanhos das peças que podem ser usinadas. Logo é muito importante se fazer um estudo da geometria da peça, bem como seu processo de fabricação para que se defina o comprimento mínimo necessário para usinagem da mesma.

Cabe aqui também salientar que a definição uma ferramenta para o processo de usinagem é decorrência da exigência do próprio processo visando racionalizá-lo. Às vezes a ferramenta que se acha ideal para o processo, terá um peso que não condiz com a robustez da máquina. Assim, no processo de definição da(s) ferramenta(s) para o processo de usinagem, conhecer a robustez que está associada ao peso da máquina é de fundamental importância.

77. Saber o preço da máquina (*Ex-Works*, F.O.B., C.I.F., etc.)... lei de importação mudar durante chegada (máquina importada)

Saber o preço da máquina (*Ex-Works*, F.O.B., C.I.F., etc.) é importante para calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem.

No caso da máquina ser importada, é mostrado na Tabela a seguir uma previsão de todos os custos envolvidos em uma operação de importação, que influenciarão no preço final da máquina. Como exemplo, será considerado uma máquina tendo um preço hipotético na matriz ou em uma das filiais do fabricante (*Ex-Works*) de US\$ 100.000,00.

Descrição dos Custos	%	Valor
a – Valor na fábrica do Fabricante (<i>Ex-Works</i>)		100.000,00
b – Embalagem		400,00
c – Frete interno		200,00
d – Valor F.O.B. (a + b + c)		100.600,00
e – Frete internacional	4	4.024,00
f – Seguro internacional (1% sobre d + e)	1	1.046,24
g – Valor C.I.F. (d + e + f)		105.670,24
Cálculo de Taxas Locais		
h – Imposto de Importação (% sobre C.I.F.)	17	17.963,94
i – I.P.I. (% sobre g + h)	0	0,00
j – I.C.M.S. (% sobre g + h)	12	14.836,10
k – Aduana (Mov. no Porto + Armazenagem (% sobre g))	3,5	3.698,46
l – Despachante (% sobre g)	1	1.056,70
m – Frete Interno no Brasil (% sobre g)	1	1.056,70
Total		144.282,14

Tabela 7. Exemplo dos custos para aquisição de uma central de usinagem.

Geralmente o imposto de importação é de 17%, o I.C.M.S. é 12% e o I.P.I. é isento. O I.C.M.S. pode ser integralmente creditado quando a mercadoria for adquirida para integrar o Ativo Fixo, e por isso é mais interessante para o cliente fazer uma importação direta do que via o representante do fabricante da máquina.

Quanto aos significados das siglas na tabela acima, tem-se:

Work ou C.I.F. – preço da máquina, em moeda corrente do país da empresa compradora.

F.O.B. – preço da máquina no fabricante.

78. Saber o tempo de troca de ferramenta de cavaco a cavaco... ter maior tempo final de usinagem

Saber o tempo de troca de ferramenta de cavaco a cavaco é importante para avaliar especificações técnicas e calcular o tempo efetivo de execução de cada peça.

O tempo de troca de ferramenta de cavaco a cavaco é o tempo considerado do momento que a ferramenta deixa o contato com a peça até o momento em que a próxima ferramenta entra em contato com a peça. É importante conhecê-lo, pois é uma das especificações técnicas a serem avaliadas e também influenciará no cálculo do tempo efetivo de execução de cada peça. Quando é feito um trabalho para baratear custo de usinagem de uma determinada peça, o fator tempo é determinante e poderá ser decisivo no caso de ter que se fazer a escolha entre dois centros de usinagem equivalentes em tudo, menos, no tempo de troca de ferramenta de cavaco a cavaco.

79. Saber o tempo de troca de *pallet*... ter maior tempo final de usinagem

Saber o tempo de troca de *pallet* é importante para avaliar especificações técnicas e calcular o tempo efetivo de execução de cada peça.

O tempo de troca de *pallet* é o tempo considerado entre o momento de término da usinagem da(s) peça(s) atual(ais) e o momento em que se inicia um novo ciclo de usinagem.

É uma das especificações técnicas a serem avaliadas e também influenciará no cálculo do tempo efetivo de execução de cada peça. Assim sendo, quanto mais rápido for a usinagem de um ciclo, maior será o número de trocas de *pallet* num determinado período de

tempo. Logo qualquer diferença no tempo de troca de *pallet* entre um centro e outro, por mais insignificante que seja, será determinante após um grande numero de trocas de *pallet*.

80. Saber o tipo de taxa de juro... tipo de taxa encarecer valor das prestações

Saber o tipo de taxa de juro é importante para avaliar condições de pagamento.

O comprador ao escolher uma máquina para aquisição, deve saber de forma precisa o tipo de taxa de juro envolvido nas condições de pagamento, pois esse tipo de taxa de juro vai influenciar no custo total dessa aquisição.

Em uma economia de inflação estabilizada, o fato dos juros de financiamento serem prefixados, indexados ou pós-fixados, passa a não ter muita diferença.

81. Saber o valor da entrada... ser acima da capacidade de investimento do comprador

Saber o valor da entrada é importante para avaliar condições de pagamento.

Em um processo de compra de um ou mais centro(s) de usinagem, será exigido por parte do fabricante da(s) máquina(s), uma certa quantia a título de adiantamento. Esta quantia varia geralmente de 10 a 30%.

Será importante conhecer esse valor para se avaliar as condições de pagamento.

82. Saber os cursos dos eixos X, Y, Z... ter os cursos no limite do exigido

Saber os cursos dos eixos X, Y, Z é importante para avaliar especificações técnicas. Após a determinação de todo o processo de usinagem, a determinação do tamanho do dispositivo e o número de peças a serem usinadas, é possível determinarmos os cursos de usinagem dos eixos X, Y, Z para conseguirmos usinar as peças.

Tendo esse dado em mãos verifica-se se existe um centro de usinagem que possua tais cursos de usinagem e se esta máquina será viável ou não. Caso não exista tal máquina ou a mesma não seja viável (possuir um custo muito elevado), então se deve reavaliar o processo usinagem buscando com isso uma diminuição dos cursos de usinagens e uma melhor opção de compra da máquina.

83. Saber quem será responsável (fabricante/representante/comprador) pelo *start-up* da máquina... ficar por conta do próprio comprador

Saber quem será responsável (fabricante/representante/comprador) pelo *start-up* da máquina é importante para avaliar a entrega técnica da máquina.

O *start-up* da máquina poderá ser dado por funcionário(s) técnico(s) do fabricante/representante da máquina, ou ainda, por conta da própria empresa compradora.

É muito importante que o *start-up* da máquina seja dado por um funcionário técnico especializado do fabricante/representante, pois o mesmo possui conhecimentos específicos sobre a máquina e saberá o que fazer caso a mesma apresente algum problema. Dessa forma, a responsabilidade no caso de algum problema cairá sobre o fabricante/representante.

84. Saber se é programável em linguagem ISO e/ou específica... ser programável somente em específica

Saber se é programável em linguagem ISO e/ou específica é importante para analisar recursos de programação/operação do comando CNC.

Existem uma variedade muito grande de comandos CNC, cada qual com sua característica, sendo que alguns possuem uma linguagem específica definida pelo próprio fabricante.

É imprescindível que seja feita uma análise de compatibilidade nos comandos já existentes na empresa com os outros comandos do mercado. Também é muito importante saber se o comando será mais voltado para a programação em chão de fábrica (comando interativo)

ou programação via DNC. A análise destes itens tem por finalidade o cálculo dos custos com treinamento do pessoal em um outro comando.

85. Saber se fabricante/representante encaminha financiamento junto a um banco e avaliza... não encaminhar e não avalizar

Saber se fabricante/representante encaminha financiamento junto a um banco e avaliza é importante para avaliar flexibilidade de financiamento.

É importante saber se fabricante/representante encaminha financiamento junto a um banco e avaliza, bem como a rapidez na liberação do financiamento junto ao banco, já que o mesmo é pressionado pelo fabricante/ representante.

86. Saber se fabricante/representante oferece financiamento próprio exigindo ou não avalista... não oferecer

Saber se fabricante/representante oferece financiamento próprio exigindo ou não avalista é importante para avaliar flexibilidade de financiamento.

Um financiamento direto com o fabricante/representante é sempre mais ágil para a liberação, pois, não existirá a presença de terceiros e haverá muito menos burocracia.

87. Saber se fabricante/representante oferece treinamento na sede do comprador e sem custo... oferecer e ter custo

Saber se fabricante/representante oferece treinamento na sede do comprador e sem custo é importante para avaliar as características do treinamento oferecido.

Se o treinamento for na sede do comprador talvez não existirão despesas com o deslocamento dos funcionários e nem custo com hospedagem dos mesmos, porém, provavelmente não haverá um ambiente apropriado para o treinamento, e às vezes, o comprador terá gastos com o deslocamento do instrutor até a sede do comprador.

88. Saber se fabricante/representante oferece treinamento na sua própria sede e sem custo... oferecer e ter custo

Saber se fabricante/representante oferece treinamento na sua própria sede e sem custo é importante para avaliar as características do treinamento oferecido.

É importante saber se fabricante/representante oferece treinamento na sua própria sede, pois nesse caso, haverá um ambiente mais apropriado para tal treinamento (sala de aula, quadro negro, simulador, etc.). Porém, implicará em despesas com o deslocamento dos funcionários e hospedagem dos mesmos.

89. Saber se há custo de treinamento... haver custo

Saber se há custo de treinamento é importante para calcular o custo total de aquisição do centro de usinagem.

O custo de treinamento, se houver, influenciará no custo total de aquisição do centro de usinagem.

O fabricante/representante da máquina poderá fornecer o treinamento dos funcionários da empresa compradora, em sua sede ou na sede da empresa adquirente da máquina.

O fabricante/representante poderá cobrar o custo de treinamento, mesmo que o treinamento seja dado na sua sede.

Ainda que o fabricante/representante não cobre pelo treinamento, deverão ser considerados custos relativos ao deslocamento e estadia dos funcionários da empresa compradora, caso o treinamento seja realizado na sede do fabricante da máquina.

90. Saber se há possibilidade de retreinamento com ou sem custo... não haver

Saber se há possibilidade de retreinamento com ou sem custo é importante para avaliar a entrega técnica da máquina.

Existem empresas que oferecem um único treinamento após a aquisição da máquina, enquanto outras oferecem oportunidade de um segundo treinamento (retreinamento) do(s) empregado(s) da empresa adquirente da máquina.

O retreinamento é um dos itens que fazem parte da entrega técnica. É importante para a empresa adquirente da máquina, que o fabricante da mesma, ofereça possibilidade de retreinamento para seus funcionários, porque, durante a primeira fase do treinamento, os funcionários estão mais em volta com dúvidas triviais (básicas), e com o passar do tempo, as experiências que vão se agregando, fazem com que os funcionários apresentem novas dúvidas de caráter mais amplo. Sendo assim, é muito importante que o fabricante da máquina ofereça a possibilidade de retreinamento.

91. Saber se há prazo de carência... não haver

Saber se há prazo de carência é importante para avaliar condições de pagamento.

O prazo de carência é um dos itens que poderão fazer parte das condições de pagamento oferecidas pelo fabricante/representante (às vezes, via encaminhamento junto a um banco).

Dependendo da disponibilidade de caixa da empresa, o prazo de carência passa a ser fundamental. Pois, às vezes, o que a empresa adquirente da(s) máquina(s) despenderia para o pagamento das parcelas da(s) mesma(s), pode durante o período de carência, com o

capital de giro existente, adquirir outro(s) equipamento(s) que possa(m) ser pago(s) durante esse período.

Portanto, o prazo de carência é de essencial importância, principalmente para compradores que não dispõem de um capital inicial. Neste período a máquina adquirida gera recursos que aumentam o capital de giro da empresa, fazendo assim com que a mesma não tenha problemas com o pagamento da máquina CNC.

92. Saber se máquina é nacional ou importada... ser de país não qualificado

Saber se máquina é nacional ou importada é importante para: avaliar assistência técnica; saber o custo de internação ou desembaraço (máquina importada) e verificar a(s) dificuldade(s) em se obter peça(s) e/ou componente(s) de reposição.

O fato de a máquina ser de procedência nacional ou estrangeira influencia no prazo de entrega da mesma.

Se for importada, haverá um acréscimo no custo final de aquisição. Além disso, deve-se verificar a(s) dificuldade(s) em se obter peça(s) e/ou componente(s) de reposição (uma dessas dificuldades está em eventuais problemas que possam ocorrer com as mesmas, em virtude dos efeitos da burocracia existente nos aeroportos e portos), bem como, a rigorosa avaliação que deverá ser feita quanto à assistência técnica prestada pelo fabricante da máquina.

Também existe o fato de se conseguir um FINAME se a máquina for nacional, o que facilitará o pagamento da mesma.

93. Saber se o fabricante/representante faz a instalação da máquina... ficar por conta do próprio comprador

Saber se o fabricante/representante faz a instalação da máquina é importante para avaliar entrega técnica da máquina.

A instalação de um centro de usinagem exige uma série de cuidados, já que o bom funcionamento do mesmo depende diretamente de sua instalação. Para isso, deve ser feita uma avaliação quanto à competência técnica dos técnicos que irão efetuar a instalação e se esses, já possuem uma boa experiência nesse tipo de serviço. E para verificar se a máquina vai funcionar de acordo com o esperado, devem-se executar testes pós-instalação com o objetivo de verificar se não haverá problemas com a parte eletrônica e mecânica da máquina.

94. Saber se o(s) técnico(s) do fabricante/representante apenas acompanha(m) a instalação da máquina... *start-up* ficar por conta do próprio comprador

Saber se o(s) técnico(s) do fabricante/representante apenas acompanha(m) a instalação da máquina é importante para avaliar entrega técnica da máquina.

Às vezes o(s) técnico(s) do fabricante/representante apenas acompanha(m) a instalação da máquina e dão o *start-up*. Nesses casos, quem realmente executa a instalação são os funcionários do comprador, longe de ter o mesmo conhecimento do(s) técnico(s) do fabricante/ representante. O pior caso ainda, é quando até o *start-up* fica por conta do comprador.

95. Saber se possui ciclo de corte sólido... não possuir

Saber se possui ciclo de corte sólido é importante para avaliar especificações técnicas e calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça.

Saber se a máquina possui ciclo de corte sólido, faz parte do conjunto de avaliação das especificações técnicas e também é importante, pois o ciclo de corte sólido influencia no tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça.

Para algumas máquinas, o ciclo de corte sólido é padrão. É a capacidade que a máquina tem de efetuar um rosqueamento, com a velocidade de retorno sendo maior do que a velocidade de entrada. Com isso, há um ganho de tempo nesse processo. Isso é possível, se a máquina na forma *Standard* dispuser de um mecanismo de compensação existente na árvore da máquina.

96. Saber se possui refrigeração de alta pressão pelo centro da ferramenta... não ser possível

Saber se possui refrigeração de alta pressão pelo centro da ferramenta é importante para avaliar especificações técnicas e calcular o tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça.

Saber se a máquina possui refrigeração de alta pressão pelo centro da ferramenta, faz parte do conjunto de avaliação das especificações técnicas e também é importante, pois a refrigeração de alta pressão pelo centro da ferramenta influencia no tempo principal de usinagem(ns) e/ou operação(ões) por peça, aumenta a eficiência do corte, retirando o cavaco e ao mesmo tempo refrigerando peça e ferramenta.

Convém lembrar que existe no mercado, um tipo de broca da marca TEMAX (que permite fazer furos de forma direta e sem furo prévio), cujo uso somente é possível em máquinas que possuam essa característica. Na usinagem de furos com grande profundidade com brocas é essencial a refrigeração de alta pressão pelo centro da broca. Pois o não uso da mesma implicará em quebras de ferramentas e baixo rendimento do serviço.

97. Saber tempo de experiência dos técnicos... ter pouco tempo

Saber tempo de experiência dos técnicos é importante para avaliar assistência técnica.

Hoje em dia, a maior parte das empresas ao se depararem com um processo de aquisição de uma máquina (centro de usinagem), avalia de forma rigorosa a assistência técnica oferecida pelo fabricante da máquina. Dentre alguns aspectos importantes a serem avaliados está o tempo de experiência dos técnicos.

Às vezes, uma empresa tem uma excelente máquina para oferecer ao seu futuro cliente em potencial, mas não oferece uma estrutura de assistência técnica confiante no que tange à qualificação dos técnicos para resolver(em) problemas(s) que poderão ser apresentados pela(s) máquina(s). A qualificação dos técnicos está ligada diretamente ao tempo que os mesmos levam para solucionar o(s) possível(is) problema(s) que a máquina venha a apresentar.

Às vezes deixam de comprar máquinas excelentes, simplesmente por causa do pós-venda que deixa muito a desejar, no que diz respeito à qualificação dos técnicos pertinentes à estrutura de assistência técnica do fabricante da máquina. A qualificação dos técnicos também é muito importante para as manutenções preventivas, pois quanto mais competente for o técnico melhor será o funcionamento da máquina e maior será a probabilidade da máquina não parar por quebra ou desgaste de algum componente da mesma.

98. Selecionar centro de usinagem... comprar máquina inadequada

Para o processo de seleção de um ou mais centro(s) de usinagem, o mapa cognitivo considera os seguintes itens ligados diretamente ao conceito **Selecionar centro de usinagem... comprar máquina inadequada**: definir especificações técnicas básicas para objetivo proposto; avaliar o tempo de garantia; avaliar especificações técnicas; avaliar as características do comando CNC; analisar se há compatibilidade com o(s) comando(s) CNC da(s) máquina(s) já existente(s) na empresa; calcular e avaliar o retorno do investimento (*pay-back*); avaliar assistência técnica e avaliar se o prazo de entrega é adequado.

O processo de seleção de um ou mais centro(s) de usinagem vai de encontro aos objetivos estratégicos da empresa, de modo que a mesma trabalhe com uma lucratividade esperada e atenda às expectativas dos clientes, fornecendo peças para a indústria automobilística a um custo condizente, satisfazendo os seguintes requisitos relativos à qualidade: prazo de entrega; perpendicularismo; planeza (planaridade); erro de posição (circularidade); erro de posicionamento; rugosidade das peças; precisão dimensional e nível de acabamento das peças, conforme acordado.

Essas peças têm várias faces a serem usinadas (trabalhadas). Nesse caso, o equipamento tem que proporcionar a usinagem completa da peça no menor tempo possível, mas que influencia no custo, e com a qualidade assegurada para o cliente.

Outra questão a ser considerada é a quantidade de peças a serem entregues ao cliente em determinados períodos (solicitadas mensalmente, anualmente, etc.). Essa quantidade de peças a serem entregues pontualmente em determinados períodos, passa a ditar a capacidade de produção que a máquina deve possuir. Essa capacidade de produção depende exclusivamente das especificações técnicas que a mesma possui. Algumas dessas são: tempo de troca de *pallet*; tempo de troca de ferramenta de cavaco a cavaco; velocidade avanço dos eixos X, Y, Z; velocidades de avanço programáveis (em trabalho) dos eixos X, Y, Z; precisão da máquina; ferramenta de maior comprimento, diâmetro e peso que pode ser usada; faixa de rotação do eixo-árvore; potência do motor principal; número de ferramentas no magazine; número de *pallets*; acesso ao gabinete da máquina e etc.

Acontece que antes da empresa definir os itens para o processo de seleção (com o intuito de aquisição) de um ou mais centro(s) de usinagem, a mesma está pensando nos seus objetivos estratégicos que tem para com o mercado, como: a empresa está entrando em uma área nova e deseja ganhar o mercado, com isso terá que ter um preço competitivo para o serviço que presta e terá somente mediante o uso de uma boa máquina, aumentar a participação no mercado, atender demanda e etc.

No processo de seleção de um centro de usinagem deve-se verificar todas as especificações técnicas dos centros de usinagem disponíveis no mercado, bem como, deve-se também estudar e traçar um perfil da máquina ideal para se usinar as peças desejadas. Deste modo, pode-se avaliar a relação custo-benefício, ou seja, a máquina ideal poderá possuir um

custo muito elevado no qual será necessário um período muito grande para o pagamento total da mesma, fazendo com que o investimento nessa máquina seja inviável.

Portanto, restará ao comprador adquirir a opção de mercado que mais se aproximar tecnicamente da máquina ideal com a melhor relação custo-benefício.

99. Verificar a(s) dificuldade(s) em se obter peça(s) e/ou componente(s) de reposição... existir(em) dificuldade(s)

Verificar a(s) dificuldade(s) em se obter peça(s) e/ou componente(s) de reposição é importante para: avaliar assistência técnica; avaliar possível tempo de máquina parada; e avaliar provável custo de manutenção.

Às vezes a(s) dificuldade(s) em se obter peça(s) e/ou componente(s) de reposição está(ão) ligada(s) diretamente à procedência da máquina: nacional ou estrangeira. Se a máquina é de origem estrangeira ou nacional com componentes importados, muitas vezes, o problema não está somente em se conseguir as peças de reposição de modo rápido, mas também, no tempo para a liberação dessa(s) peça(s) de reposição, em virtude da burocracia existentes nos portos e aeroportos. Também deve ser analisado se a máquina contém algum componente de fabricação nacional em que o fabricante da máquina não possa fornecer um componente provisório até o conserto do componente danificado.

Essas dificuldades influenciam no tempo em que a máquina fica parada por problemas técnicos. Às vezes, o custo de manutenção não é o que mais importa, mas sim, o custo proveniente do atraso na entrega das peças que deveriam ser usadas para o cliente, que acaba por prejudicar a imagem da empresa.

Portanto, não só devemos avaliar se a máquina é nacional ou importada como também se o fabricante/representante possui um estoque de peças de reposição na cidade sede do comprador ou em uma cidade próxima do mesmo.

9.4. ÁRVORE DOS PONTOS DE VISTA FUNDAMENTAIS

Após o processo final de confecção de construção do mapa cognitivo, na entrevista seguinte com o decisor, foi sugerida uma árvore de pontos de vista fundamentais. Depois de alguma análise por parte do decisor e uma pequena modificação nesta sugerida inicialmente, a árvore que contemplou a subjetividade do decisor, é apresentada a seguir na Figura 36.

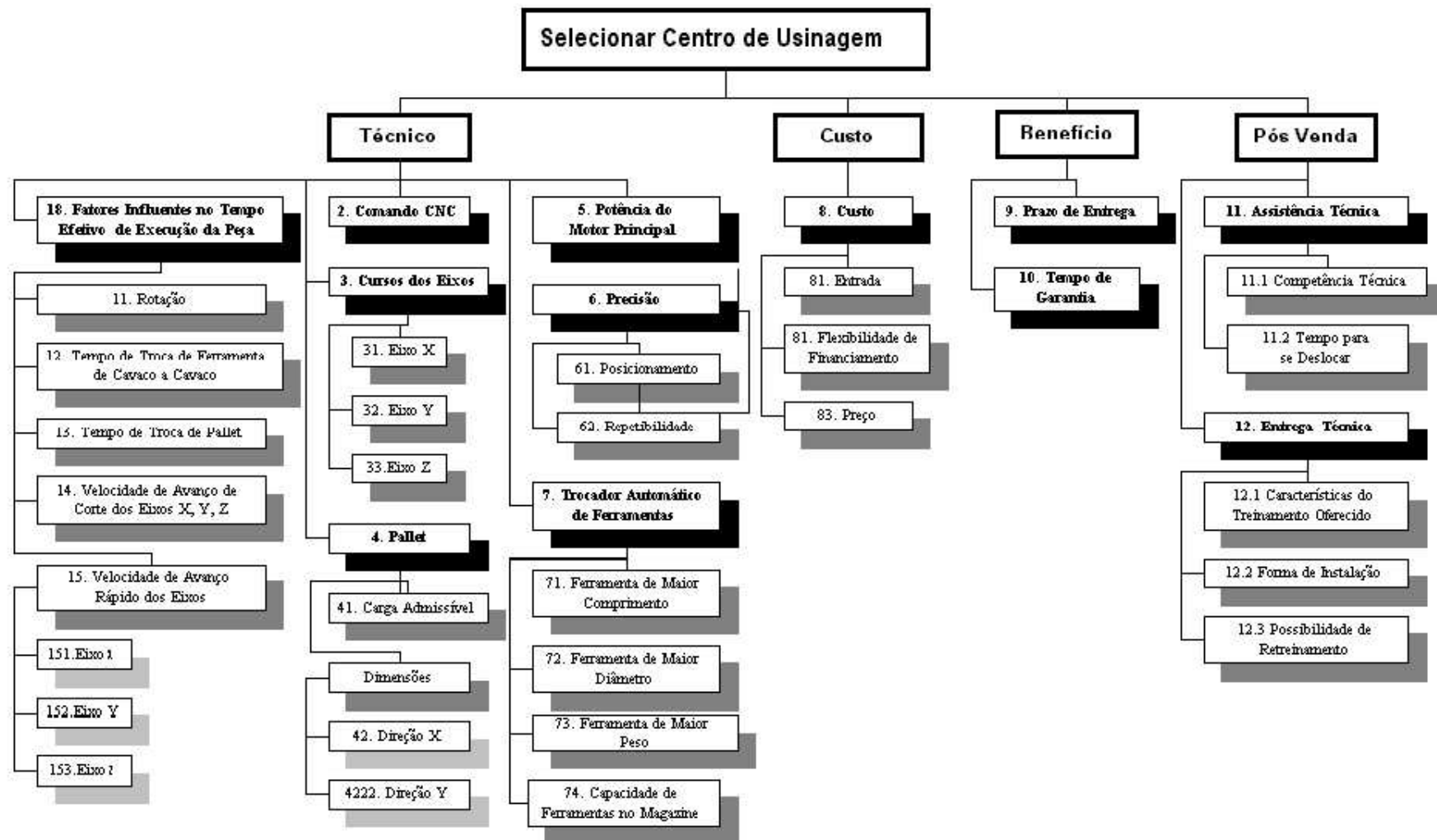


Figura 38. Árvore dos Pontos de Vista Fundamentais - PVF's

A Figura 38 permite identificar os seguintes pontos de vista como fundamentais para avaliação/seleção de um centro de usinagem, de acordo com a área de interesse ao qual fazem parte, conforme a seguir:

1º Área de Interesse – Técnico

PVF1 – Fatores influentes no tempo efetivo de execução da peça

- ✓ PVF2 – Comando CNC
- ✓ PVF4 – Cursos dos Eixos t -
- ✓ PVF4 – Pallet
- ✓ PVF5 – Potência do Motor Principal
- ✓ PVF6 – Precisão
- ✓ PVF7 – Trocador automático de ferramentas

2º Área de Interesse – Custo

- ✓ PVF8 – Custo

3º Área de Interesse – Benefício

- ✓ PVF9 – Prazo de entrega
- ✓ PVF10 – Tempo de garantia

4º Área de Interesse – Pós-venda

- ✓ PVF11 – Assistência técnica
- ✓ PVF12 – Entrega técnica

Uma vez identificados os pontos de vista fundamentais e sua identificação nas áreas de interesse, procede-se agora a elaboração dos descritores.

O agrupamento de descritores dos vários pontos de vista elementares (PVE) que compõem determinados pontos de vista fundamentais, irão representar os descritores dos pontos de vista fundamentais.

A seguir são apresentados todos os descritores dos pontos de vista elementares contemplados na Figura 40.

9.4.1 – Área de Interesse – Técnico

PVE1.1 – Rotação	
Nível de Impacto	Descrição
N ₇	Em torno de 11.000 rpm.
N ₆	Em torno de 10.000 rpm.
N ₅	Em torno de 9.000 rpm.
N ₄	Em torno de 8.000 rpm.
N ₃	Em torno de 7.000 rpm.
N ₂	Em torno de 6.000 rpm.
N ₁	Em torno de 5.000 rpm.

Tabela 8. Descritor do PVE1.1

PVE1.2 – Tempo de Troca de Ferramenta de Cavaco a Cavaco	
Nível de Impacto	Descrição
N ₇	Em torno de 1,5 Segundos.
N ₆	Em torno de 2,5 Segundos.
N ₅	Em torno de 3,5 Segundos.
N ₄	Em torno de 4,5 Segundos.
N ₃	Em torno de 5,5 Segundos.
N ₂	Em torno de 6,5 Segundos.
N ₁	Em torno de 7,5 Segundos.

Tabela 9. Descritor do PVE1.2

PVE1.3 – Tempo de Troca de <i>Pallet</i>	
Nível de Impacto	Descrição
N₆	Em torno de 3,5 segundos.
N₅	Em torno de 5,0 segundos.
N₄	Em torno de 6,5 segundos.
N₃	Em torno de 8,0 segundos.
N₂	Em torno de 9,5 segundos.
N₁	Em torno de 11,0 segundos.

Tabela 10. Descritor do PVE1.3

PVE1.4 – Velocidade de Avanço de Corte dos Eixos X, Y, Z	
Nível de Impacto	Descrição
N₇	Em torno de 36.000 milímetros por minuto.
N₆	Em torno de 32.000 milímetros por minuto.
N₅	Em torno de 28.000 milímetros por minuto.
N₄	Em torno de 24.000 milímetros por minuto.
N₃	Em torno de 20.000 milímetros por minuto.
N₂	Em torno de 16.000 milímetros por minuto.
N₁	Em torno de 12.000 milímetros por minuto.

Tabela 11. Descritor do PVE1.4

PVE1.5.1 – Eixo X	
Nível de Impacto	Descrição
N₇	Em torno de 36.000 milímetros por minuto.
N₆	Em torno de 32.000 milímetros por minuto.
N₅	Em torno de 28.000 milímetros por minuto.
N₄	Em torno de 24.000 milímetros por minuto.
N₃	Em torno de 20.000 milímetros por minuto.
N₂	Em torno de 16.000 milímetros por minuto.
N₁	Em torno de 12.000 milímetros por minuto.

Tabela 12. Descritor do PVE1.5.1

PVE1.5.2 – Eixo Y	
Nível de Impacto	Descrição
N₇	Em torno de 36.000 milímetros por minuto.
N₆	Em torno de 32.000 milímetros por minuto.
N₅	Em torno de 28.000 milímetros por minuto.
N₄	Em torno de 24.000 milímetros por minuto.
N₃	Em torno de 20.000 milímetros por minuto.
N₂	Em torno de 16.000 milímetros por minuto.
N₁	Em torno de 12.000 milímetros por minuto.

Tabela 13. Descritor do PVE1.5.2

PVE1.5.3 – Eixo Z	
Nível de Impacto	Descrição
N₇	Em torno de 36.000 milímetros por minuto.
N₆	Em torno de 32.000 milímetros por minuto.
N₅	Em torno de 28.000 milímetros por minuto.
N₄	Em torno de 24.000 milímetros por minuto.
N₃	Em torno de 20.000 milímetros por minuto.
N₂	Em torno de 16.000 milímetros por minuto.
N₁	Em torno de 12.000 milímetros por minuto.

Tabela 14. Descritor do PVE1.5.3

PVF2 – Comando CNC	
Nível de Impacto	Descrição
N₃	Programável em linguagem ISO e específica.
N₂	Programável somente em linguagem ISO.
N₁	Programável somente em linguagem específica.

Tabela 15. Descritor do PVF2

PVE3.1 – Eixo X	
Nível de Impacto	Descrição
N ₇	Em torno de 750 milímetros.
N ₆	Em torno de 690 milímetros.
N ₅	Em torno de 630 milímetros.
N ₄	Em torno de 570 milímetros.
N ₃	Em torno de 510 milímetros.
N ₂	Em torno de 460 milímetros.
N ₁	Em torno de 400 milímetros.

Tabela 16. Descritor do PVE3.1

PVE3.2 – Eixo Y	
Nível de Impacto	Descrição
N ₇	Em torno de 750 milímetros.
N ₆	Em torno de 690 milímetros.
N ₅	Em torno de 630 milímetros.
N ₄	Em torno de 570 milímetros.
N ₃	Em torno de 510 milímetros.
N ₂	Em torno de 460 milímetros.
N ₁	Em torno de 400 milímetros.

Tabela 17. Descritor do PVE3.2

PVE3.3 – Eixo Z	
Nível de Impacto	Descrição
N ₇	Em torno de 750 milímetros.
N ₆	Em torno de 690 milímetros.
N ₅	Em torno de 630 milímetros.
N ₄	Em torno de 570 milímetros.
N ₃	Em torno de 510 milímetros.
N ₂	Em torno de 460 milímetros.
N ₁	Em torno de 400 milímetros.

Tabela 18. Descritor do PVE3.3

PVE4.1 – Carga Admissível	
Nível de Impacto	Descrição
N ₇	Em torno de 600 kg.
N ₆	Em torno de 550 kg.
N ₅	Em torno de 500 kg.
N ₄	Em torno de 450 kg.
N ₃	Em torno de 400 kg.
N ₂	Em torno de 350 kg.
N ₁	Em torno de 300 kg.

Tabela 19. Descritor do PVE4.1

PVE4.2.1 – Direção X	
Nível de Impacto	Descrição
N₆	Em torno de 700 mm.
N₅	Em torno de 650 mm.
N₄	Em torno de 600 mm.
N₃	Em torno de 550 mm.
N₂	Em torno de 500 mm.
N₁	Em torno de 450 mm.

Tabela 20. Descritor do PVE4.2.1

PVE4.2.2 – Direção Y	
Nível de Impacto	Descrição
N₆	Em torno de 700 mm.
N₅	Em torno de 650 mm.
N₄	Em torno de 600 mm.
N₃	Em torno de 550 mm.
N₂	Em torno de 500 mm.
N₁	Em torno de 450 mm.

Tabela 21. Descritor do PVE4.2.2

PVF5 – Potência do Motor Principal	
Nível de Impacto	Descrição
N ₆	Em torno de 28,0 hp.
N ₅	Em torno de 24,0 hp.
N ₄	Em torno de 21,0 hp.
N ₃	Em torno de 17,0 hp.
N ₂	Em torno de 13,0 hp.
N ₁	Em torno de 9,0 hp.

Tabela 22. Descritor do PVF5

PVE6.1 – Posicionamento	
Nível de Impacto	Descrição
N ₇	Em torno de 0,001 mm.
N ₆	Em torno de 0,003 mm.
N ₅	Em torno de 0,005 mm.
N ₄	Em torno de 0,007 mm.
N ₃	Em torno de 0,009 mm.
N ₂	Em torno de 0,011 mm.
N ₁	Em torno de 0,013 mm.

Tabela 23. Descritor do PVE6.1

PVE6.2 – Repetibilidade	
Nível de Impacto	Descrição
N₇	Em torno de 0,001 mm.
N₆	Em torno de 0,002 mm.
N₅	Em torno de 0,003 mm.
N₄	Em torno de 0,004 mm.
N₃	Em torno de 0,005 mm.
N₂	Em torno de 0,006 mm.
N₁	Em torno de 0,007 mm.

Tabela 24. Descritor do PVE6.2

PVE7.1 – Ferramenta de Maior Comprimento	
Nível de Impacto	Descrição
N₆	Em torno de 330 milímetros.
N₅	Em torno de 300 milímetros.
N₄	Em torno de 270 milímetros.
N₃	Em torno de 240 milímetros.
N₂	Em torno de 210 milímetros.
N₁	Em torno de 180 milímetros.

Tabela 25. Descritor do PVE7.1

PVE7.2 – Ferramenta de Maior Diâmetro	
Nível de Impacto	Descrição
N₅	Em torno de 150 milímetros.
N₄	Em torno de 130 milímetros.
N₃	Em torno de 110 milímetros.
N₂	Em torno de 90 milímetros.
N₁	Em torno de 70 milímetros.

Tabela 26. Descritor do PVE7.2

PVE7.3 – Ferramenta de Maior Peso	
Nível de Impacto	Descrição
N₅	Em torno de 15,0 kg.
N₄	Em torno de 12,5 kg.
N₃	Em torno de 10,0 kg.
N₂	Em torno de 7,5 kg.
N₁	Em torno de 5,0 kg.

Tabela 27. Descritor do PVE7.3

PVE7.4 – Capacidade de Ferramentas no Magazine	
Nível de Impacto	Descrição
N₆	Em torno de 42 ferramentas.
N₅	Em torno de 36 ferramentas.
N₄	Em torno de 30 ferramentas.
N₃	Em torno de 24 ferramentas.
N₂	Em torno de 18 ferramentas.
N₁	Em torno de 12 ferramentas.

Tabela 28. Descritor do PVE7.4

9.4.2 – Área de Interesse – Custo

PVE8.1 – Entrada	
Nível de Impacto	Descrição
N₄	Sem adiantamento.
N₃	10% de adiantamento.
N₂	20% de adiantamento.
N₁	30% de adiantamento.

Tabela 29. Descritor do PVE8.1

PVE8.2 – Flexibilidade de Financiamento	
Nível de Impacto	Descrição
N₅	O fabricante/representante da máquina oferece financiamento próprio sem exigir avalista.
N₄	O fabricante/representante da máquina oferece financiamento próprio mas exige avalista.
N₃	O fabricante/representante encaminha o financiamento junto a um banco e avaliza.
N₂	O fabricante/representante encaminha o financiamento junto a um banco, mas não avaliza.
N₁	O fabricante e representante não oferecem opção de financiamento.

Tabela 30. Descritor do PVE8.2

PVE8.3 – Preço	
Nível de Impacto	Descrição
N₇	Em torno de U\$ 120.000,00.
N₆	Em torno de U\$ 150.000,00.
N₅	Em torno de U\$ 180.000,00.
N₄	Em torno de U\$ 210.000,00.
N₃	Em torno de U\$ 240.000,00.
N₂	Em torno de U\$ 270.000,00.
N₁	Em torno de U\$ 300.000,00.

Tabela 31. Descritor do PVE8.3

9.4.3 – Área de Interesse – Benefício

PVF9 – Prazo de Entrega	
Nível de Impacto	Descrição
N ₇	Máquina para pronta entrega.
N ₆	Em 30 dias.
N ₅	Em 60 dias.
N ₄	Em 90 dias.
N ₃	Em 120 dias.
N ₂	Em 150 dias.
N ₁	Em 180 dias.

Tabela 32. Descritor do PVF9

PVF10 – Tempo de Garantia	
Nível de Impacto	Descrição
N ₄	24 meses.
N ₃	18 meses.
N ₂	12 meses.
N ₁	06 meses.

Tabela 33. Descritor do PVF10

9.4.4 – Área de Interesse – Pós-Venda

PVE11.1 – Competência Técnica	
Nível de Impacto	Descrição
N ₄	Técnicos com experiência acima de 10 anos com treinamento realizado no fabricante.
N ₃	Técnicos com experiência entre 05 a 10 anos com treinamento realizado no fabricante.
N ₂	Técnicos com menos de 05 anos de experiência com treinamento realizado no fabricante .
N ₁	Técnicos sem muita experiência.

Tabela 34. Descritor do PVE11.1

PVE11.2 – Tempo para se Deslocar	
Nível de Impacto	Descrição
N ₆	Em torno de 06 horas.
N ₅	Em torno de 12 horas.
N ₄	Em torno de 18 horas.
N ₃	Em torno de 24 horas.
N ₂	Em torno de 30 horas.
N ₁	Em torno de 36 horas.

Tabela 35. Descritor do PVE11.2

PVE12.1 – Características do Treinamento Oferecido	
Nível de Impacto	Descrição
N ₅	O fabricante da máquina oferece treinamento na sua própria sede e sem custo.
N ₄	O fabricante oferece treinamento na sede da empresa compradora e sem custo.
N ₃	O fabricante oferece treinamento na sede da empresa compradora e com custo.
N ₂	O fabricante da máquina oferece treinamento na sua própria sede e com custo.
N ₁	O fabricante e o representante não oferecem treinamento.

Tabela 36. Descritor do PVE12.1

PVE12.2 – Forma da Instalação	
Nível de Impacto	Descrição
N ₄	Feita pelo próprio fabricante/representante da máquina e também se responsabilizando pelo <i>start-up</i> .
N ₃	Acompanhada por funcionário(s) técnico(s) do fabricante da máquina, sendo este(s) responsável(is) pelo <i>start-up</i> .
N ₂	Acompanhada por funcionário(s) técnico(s) do representante do fabricante da máquina, sendo este(s) responsável(is) pelo <i>start-up</i> .
N ₁	Toda a instalação, inclusive o <i>start-up</i> da máquina fica por conta do comprador.

Tabela 37. Descritor do PVE12.2

PVE12.3 – Possibilidade de Retreinamento	
Nível de Impacto	Descrição
N ₃	O fabricante/representante oferece retreinamento de forma gratuita.
N ₂	O fabricante/representante oferece retreinamento, porém, com custo.
N ₁	O fabricante e representante não oferecem retreinamento.

Tabela 38. Descritor do PVE12.3

Uma vez elaborados os descritores dos critérios a serem utilizados na avaliação e/ou seleção de um centro de usinagem, inicia-se o processo de avaliação dos níveis de impacto de cada descritor segundo aspectos locais e globais.

As informações obtidas até então já serviriam para a obtenção de um perfil de impacto dos cada opção de centro de usinagem, mas os dados obtidos seriam apenas de caráter absoluto.

A quantificação da preferência de um centro de usinagem em relação aos demais, é realizada pela elaboração de uma escala de preferências onde os fatores subjetivos do decisor devem ser contemplados.

9.5. A AVALIAÇÃO NO MODELO MULTICRITÉRIO

O processo de avaliação do problema abordado, utilizando o modelo multicritério de apoio ao processo decisório, se faz de início pela construção das escalas de valor cardinais para cada um dos pontos de vista considerados.

A determinação das taxas de substituição entre os pontos de vista é então realizada, para que em seguida seja formulado o impacto de cada ação potencial, ou seja, de cada centro de usinagem, frente a cada ponto de vista fundamental considerado.

O processo de avaliação culmina com a validação do modelo pela análise de robustez do modelo, com o auxílio de um software.

9.5.1. Definição das escalas de preferência local

Utilizando as informações obtidas na fase da estruturação a cerca dos pontos de vista fundamentais, com a construção de seus descritores, inicia-se o processo iterativo entre decisor e facilitador, em busca dos juízos de valor relacionados às diferenças de atratividade existentes entre os níveis de impacto dos descritores. Tal procedimento se faz necessário para a obtenção da escala de preferências local do decisor, sobre cada ponto de vista fundamental.

O recurso de auxílio à construção de escalas, sugerido na fundamentação teórica, o MACBETH entra em ação com a elaboração das matrizes de juízo de valor sobre cada um dos descritores construídos. Tal matriz permitirá com o auxílio do software MACBETH, a formulação da escala de preferência local.

As tabelas apresentadas a seguir, contém as matrizes de juízos de valor para os pontos de vista fundamentais, mencionados anteriormente.

PVE1.1 – Rotação

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	4	5	5	6	6	100
N ₆			2	4	4	5	6	84
N ₅				3	3	4	5	68
N ₄					2	3	5	48
N ₃						2	4	40
N ₂							3	24
N ₁								0

Tabela 39. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.1

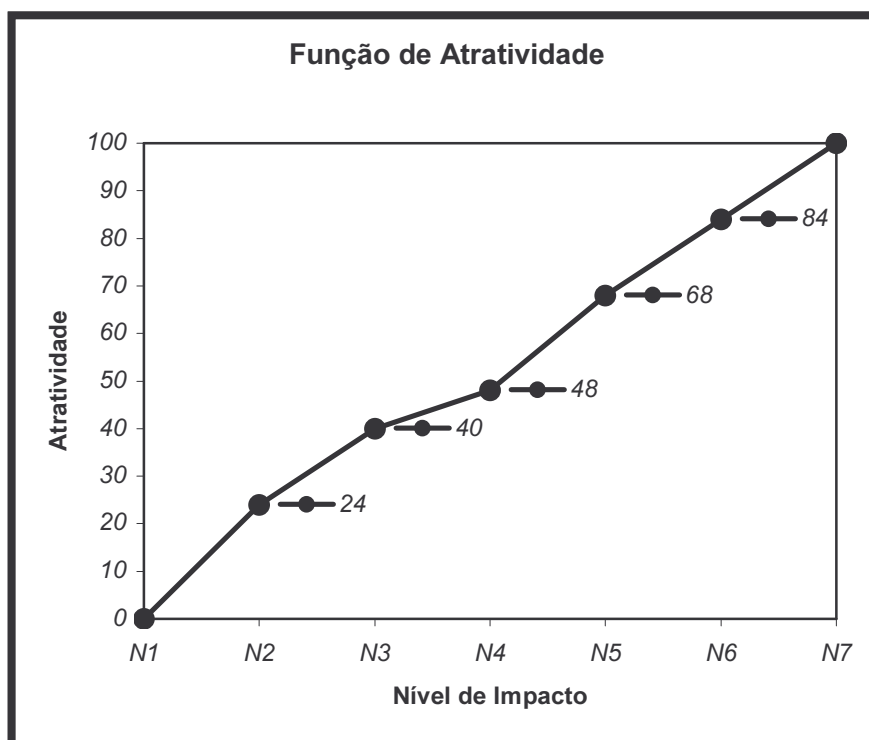


Figura 39. Função de Atratividade para o PVE1.1.

PVE1.2 – Tempo de Troca de Ferramenta de Cavaco a Cavaco

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		3	4	5	5	6	6	100
N ₆			3	4	4	5	6	82
N ₅				3	3	5	5	64
N ₄					3	4	5	50
N ₃						3	4	36
N ₂							3	14
N ₁								0

Tabela 40. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.2

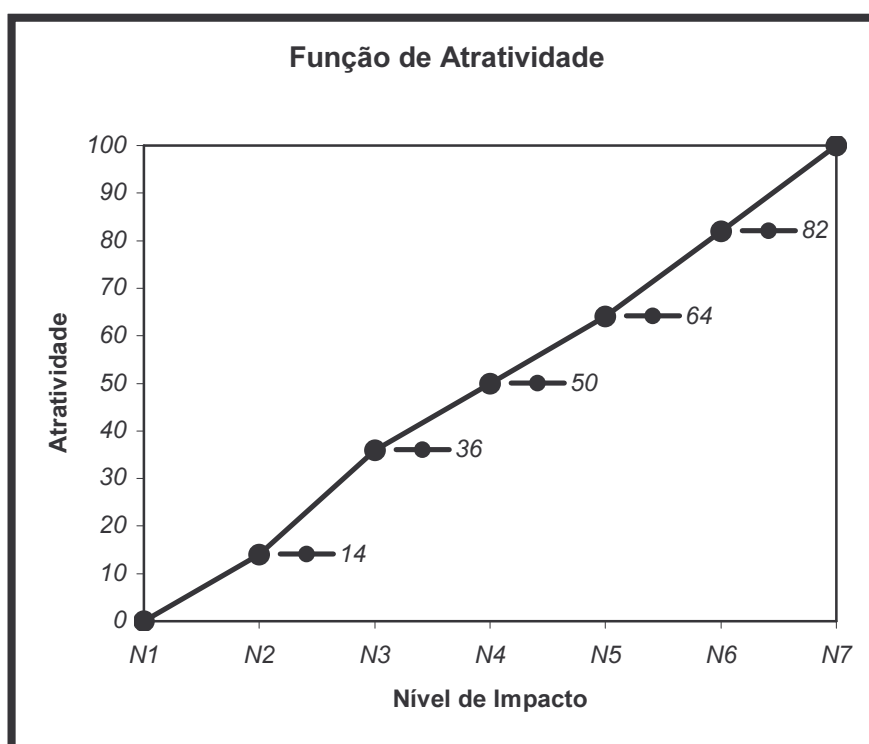


Figura 40. Função de Atratividade para o PVE1.2.

PVE1.3 – Tempo de Troca de *Pallet*

	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₆		3	4	5	6	6	100
N ₅			3	4	5	6	80
N ₄				3	4	5	60
N ₃					3	4	40
N ₂						3	20
N ₁							0

Tabela 41. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.3

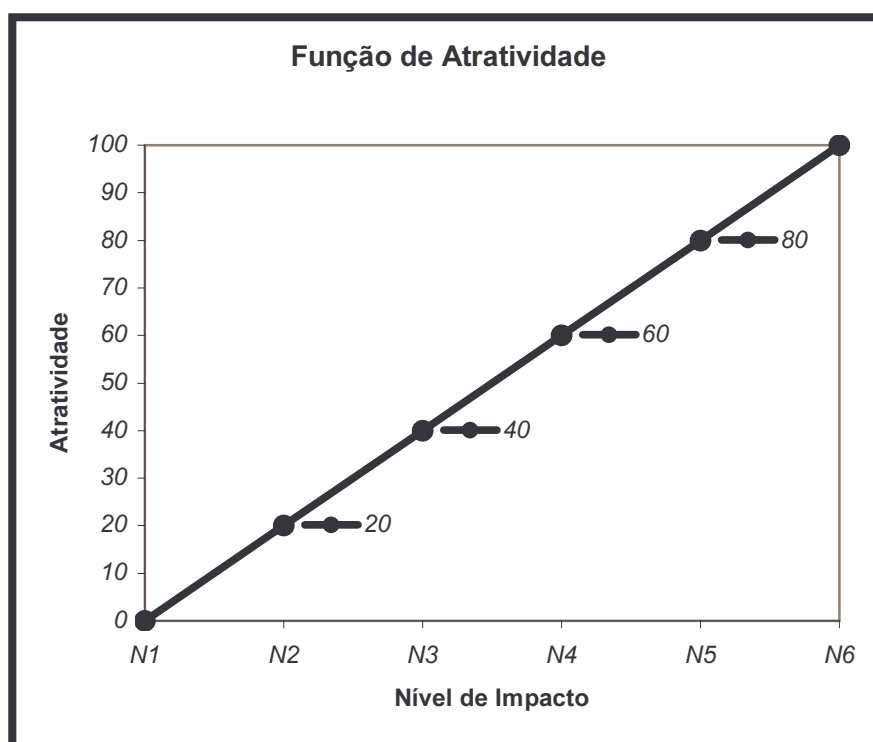


Figura 41. Função de Atratividade para o PVE1.3.

PVE1.4 – Velocidade de Avanço de Corte dos Eixos X,Y,Z

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		3	4	4	5	6	6	100
N ₆			3	3	4	4	5	77
N ₅				2	3	3	4	53
N ₄					2	3	3	40
N ₃						2	3	27
N ₂							2	13
N ₁								0

Tabela 42. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.4

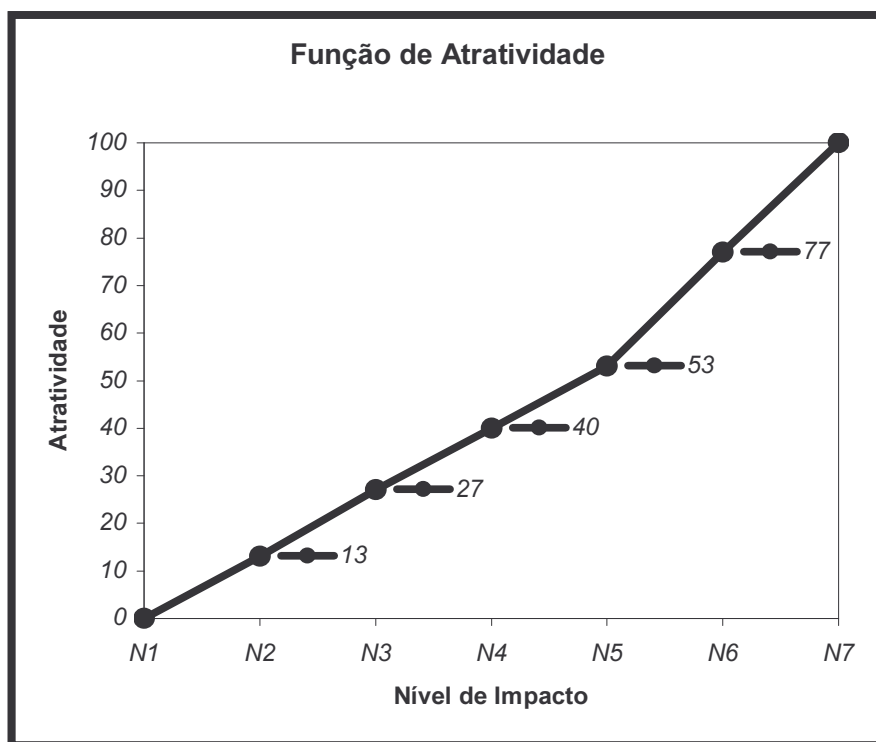


Figura 42. Função de Atratividade para o PVE1.4.

PVE1.5.1 – Eixo X

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	4	5	6	6	100
N ₆			2	3	4	5	6	85
N ₅				3	3	4	5	69
N ₄					2	3	3	38
N ₃						2	2	23
N ₂							1	8
N ₁								0

Tabela 43. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.5.1

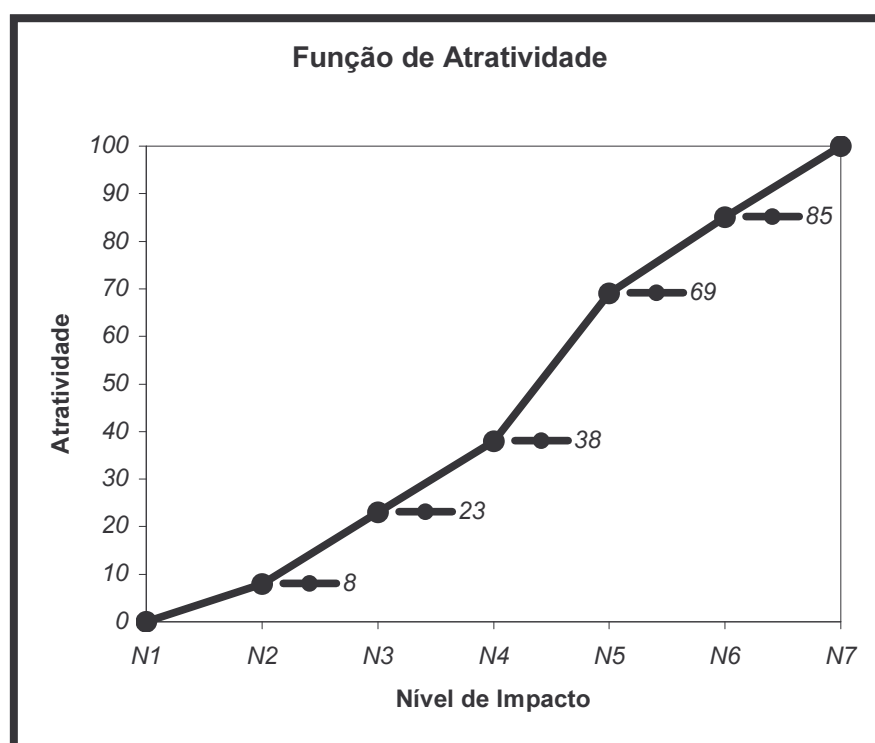


Figura 43. Função de Atratividade para o PVE1.5.1

PVE1.5.2 – Eixo Y

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	4	5	6	6	100
N ₆			2	3	4	5	6	85
N ₅				3	3	4	5	69
N ₄					2	3	3	38
N ₃						2	2	23
N ₂							1	8
N ₁								0

Tabela 44. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.5.2

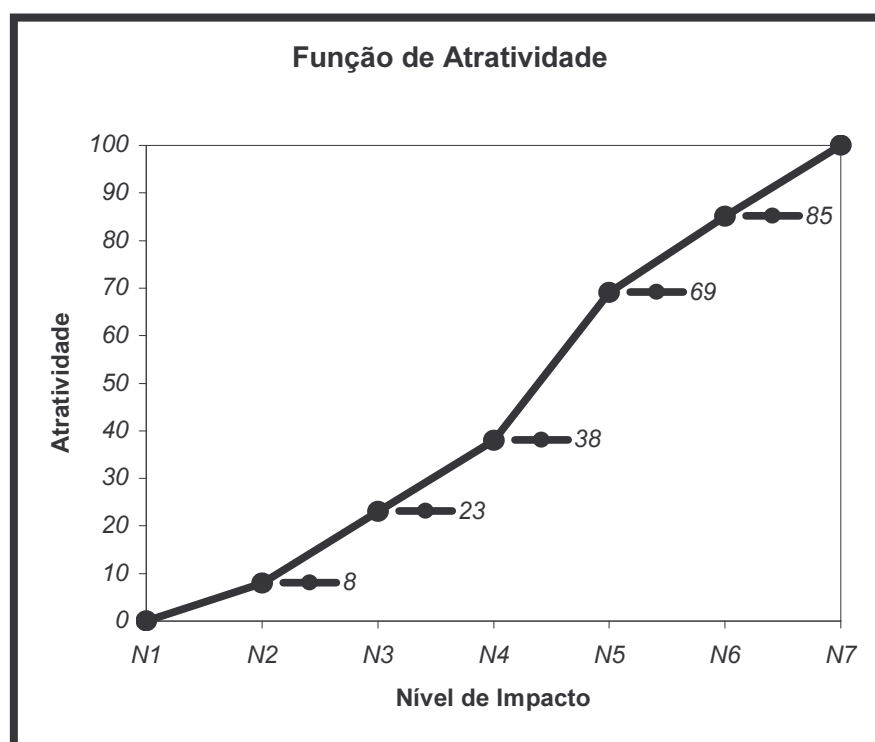


Figura 44. Função de Atratividade para o PVE1.5.2

PVE1.5.3 – Eixo Z

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	4	5	6	6	100
N ₆			2	3	4	5	6	85
N ₅				3	3	4	5	69
N ₄					2	3	3	38
N ₃						2	2	23
N ₂							1	8
N ₁								0

Tabela 45. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE1.5.3

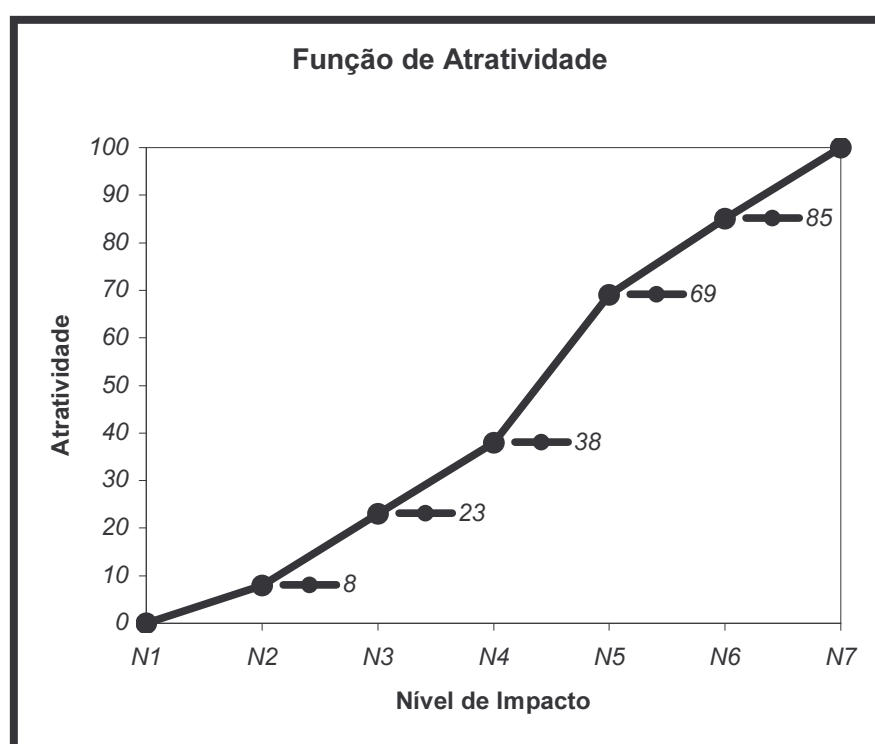


Figura 45. Função de Atratividade para o PVE1.5.3

PVF2 – Comando CNC

	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₃		4	5	100
N ₂			4	50
N ₁				0

Tabela 46. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVF2

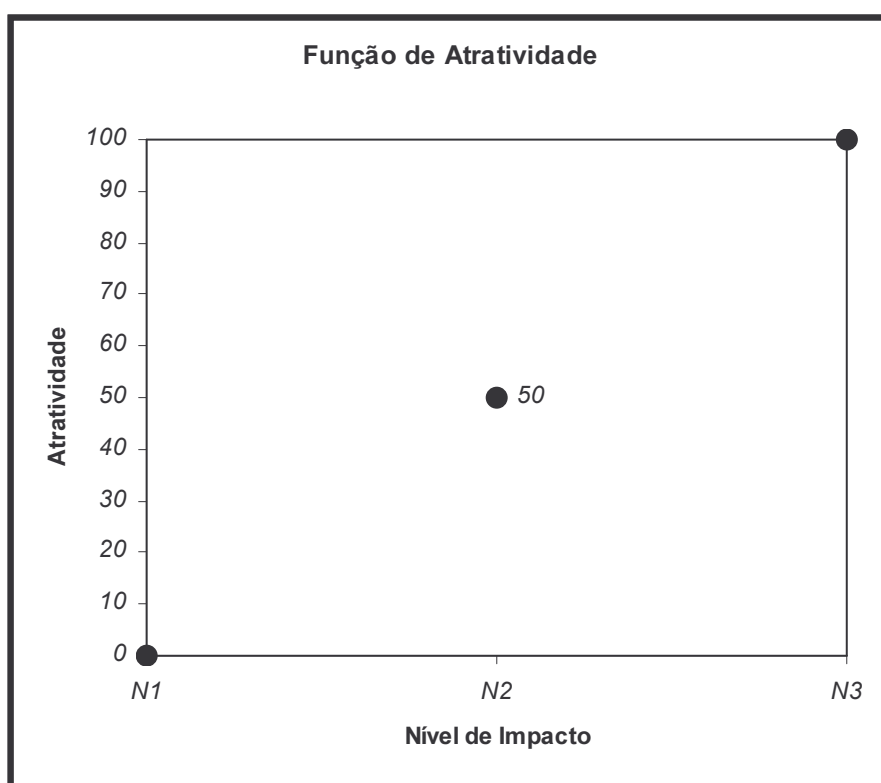


Figura 46. Função de Atratividade para o PVE2

PVE3.1 – Eixo X

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	4	5	6	6	100
N ₆			2	3	4	5	6	85
N ₅				3	3	4	5	69
N ₄					2	3	3	38
N ₃						2	2	23
N ₂							1	8
N ₁								0

Tabela 47. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE3.1

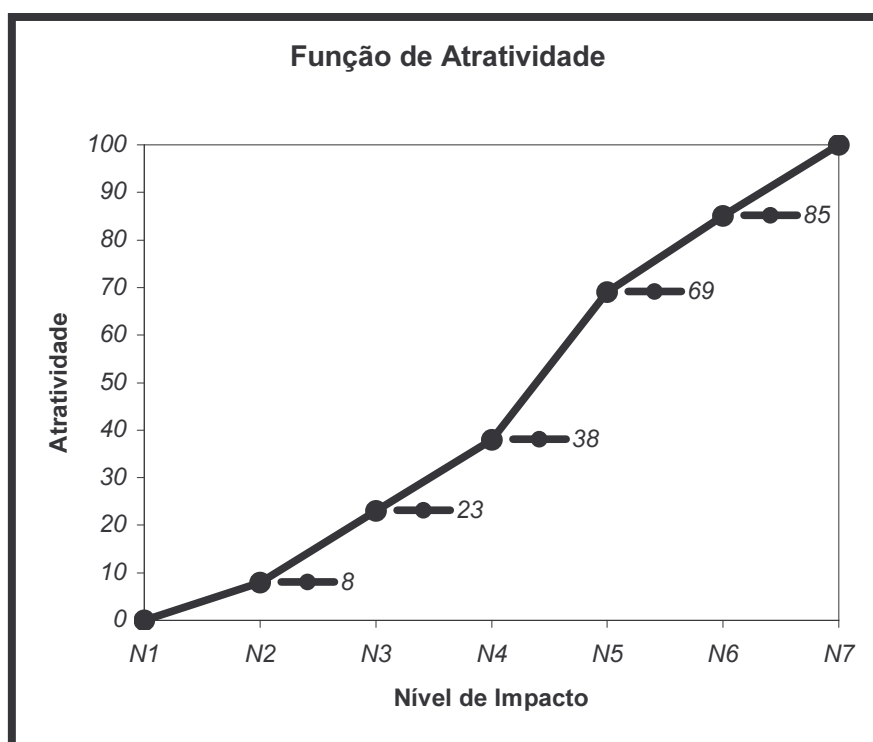


Figura 47. Função de Atratividade para o PVE3.1

PVE3.2 – Eixo Y

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	4	5	6	6	100
N ₆			2	3	4	5	6	85
N ₅				3	3	4	5	69
N ₄					2	3	3	38
N ₃						2	2	23
N ₂							1	8
N ₁								0

Tabela 48. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE3.2

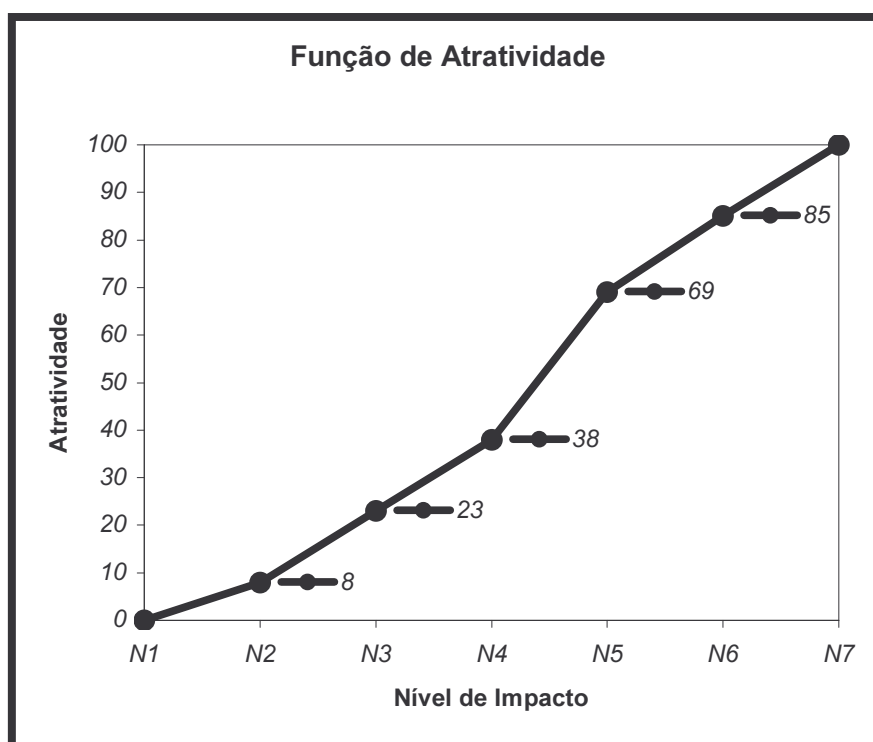


Figura 48. Função de Atratividade para o PVE3.2

PVE3.3 – Eixo Z

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	4	5	6	6	100
N ₆			2	3	4	5	6	85
N ₅				3	3	4	5	69
N ₄					2	3	3	38
N ₃						2	2	23
N ₂							1	08
N ₁								0

Tabela 49. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE3.3

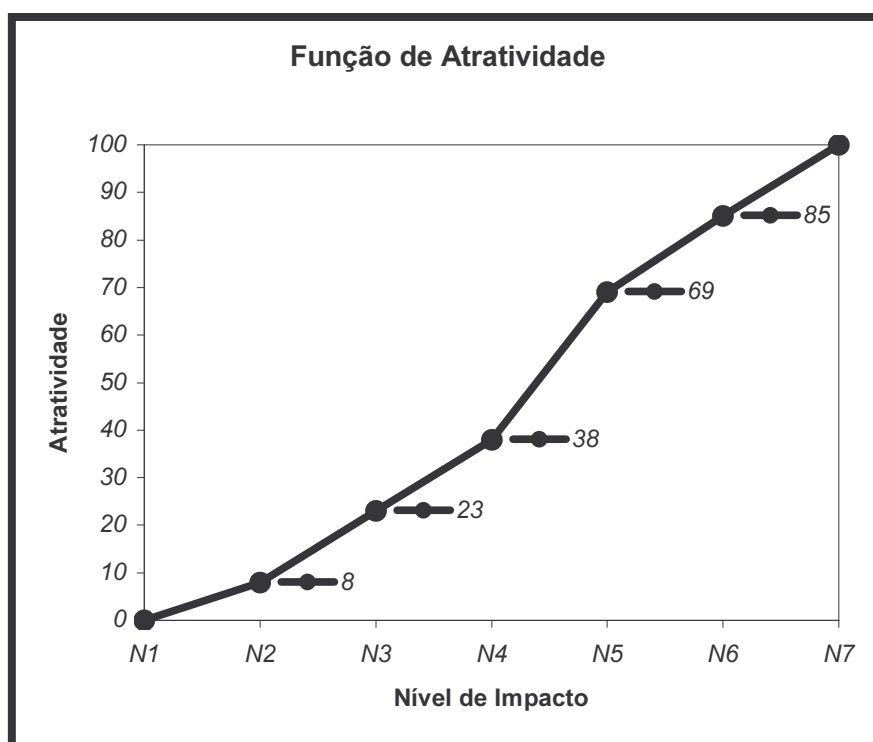


Figura 49. Função de Atratividade para o PVE3.3

PVE4.1 – Carga Admissível

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	3	4	5	6	100
N ₆			2	2	3	4	5	77
N ₅				2	2	3	4	62
N ₄					2	2	3	46
N ₃						2	2	31
N ₂							2	15
N ₁								0

Tabela 50. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE4.1

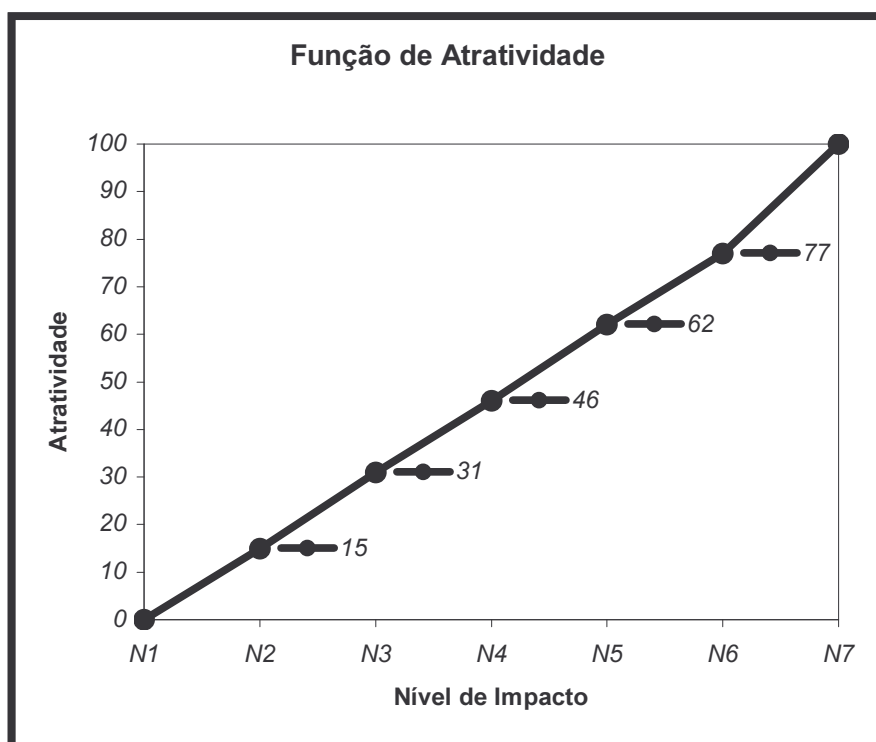


Figura 50. Função de Atratividade para o PVE4.1

PVE4.2.1 – Direção X

	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₆		4	4	5	5	6	100
N ₅			4	4	5	5	80
N ₄				4	4	5	60
N ₃					4	4	40
N ₂						4	20
N ₁							0

Tabela 51. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE4.2.1

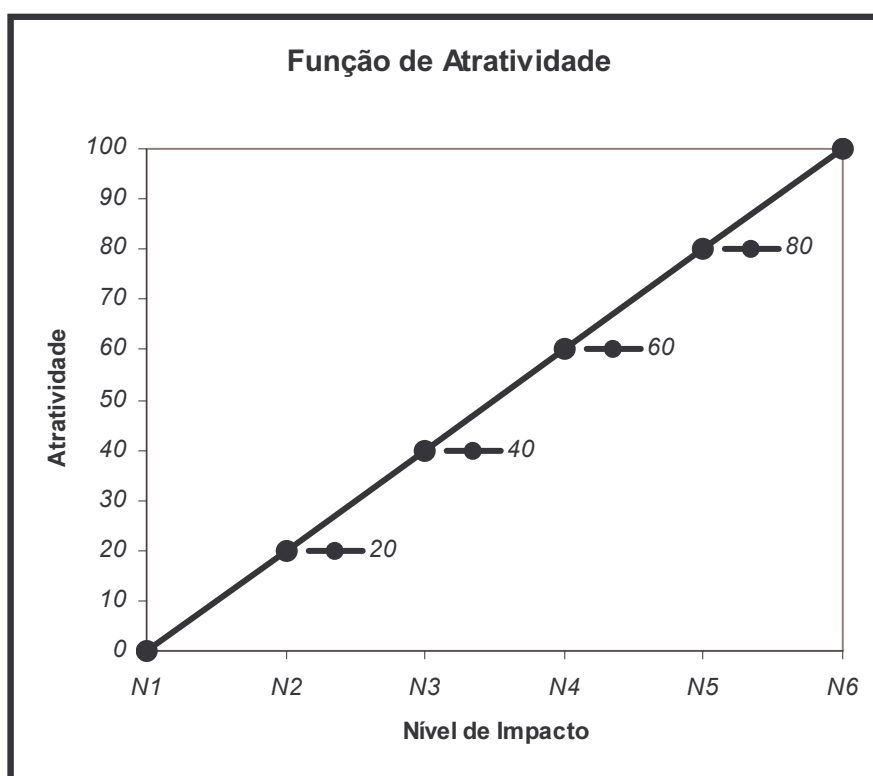


Figura 51. Função de Atratividade para o PVE4.2.1

PVE4.2.2 – Direção Y

	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₆		3	3	4	5	6	100
N ₅			3	3	4	5	81
N ₄				3	3	4	63
N ₃					3	4	44
N ₂						3	25
N ₁							0

Tabela 52. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE4.2.2

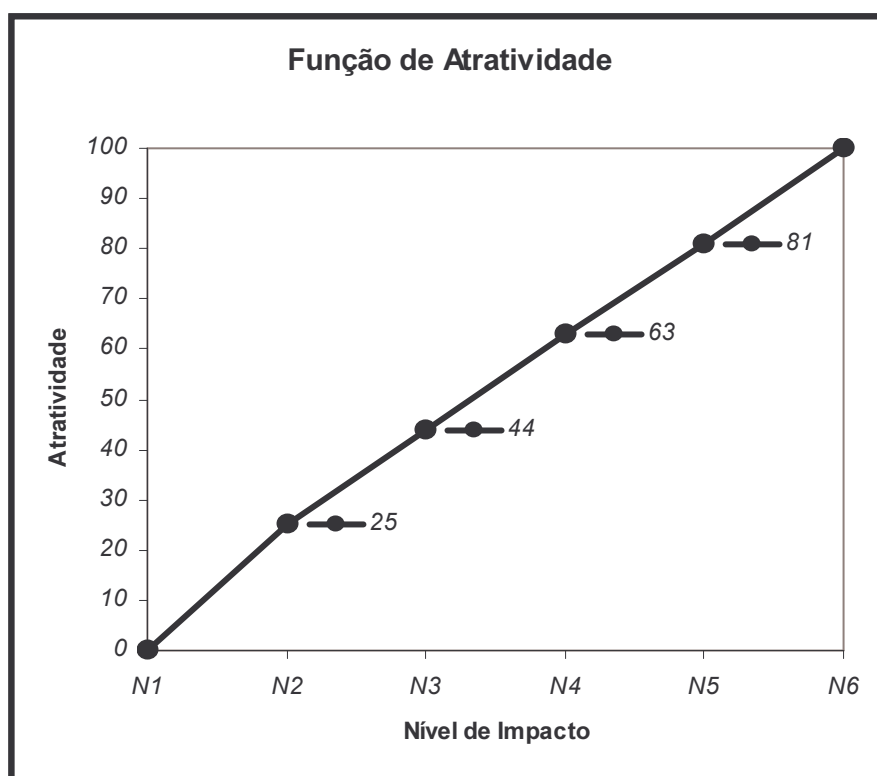


Figura 52. Função de Atratividade para o PVE4.2.2

PVF5 – Potência do Motor Principal

	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₆		3	4	4	5	6	100
N ₅			3	3	4	5	75
N ₄				3	3	4	56
N ₃					3	3	38
N ₂						3	19
N ₁							0

Tabela 53. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVF5

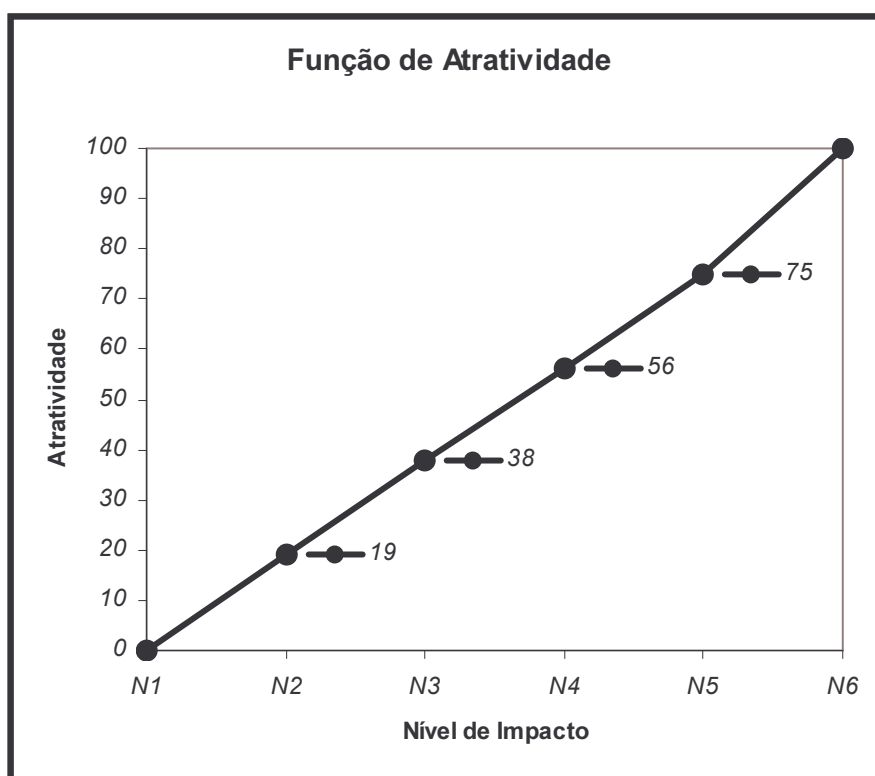


Figura 53. Função de Atratividade para o PVE5

PVE6.1 – Posicionamento

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	4	4	5	6	100
N ₆			2	3	4	4	5	83
N ₅				2	3	4	4	67
N ₄					2	3	4	50
N ₃						2	3	33
N ₂							2	17
N ₁								0

Tabela 54. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE6.1

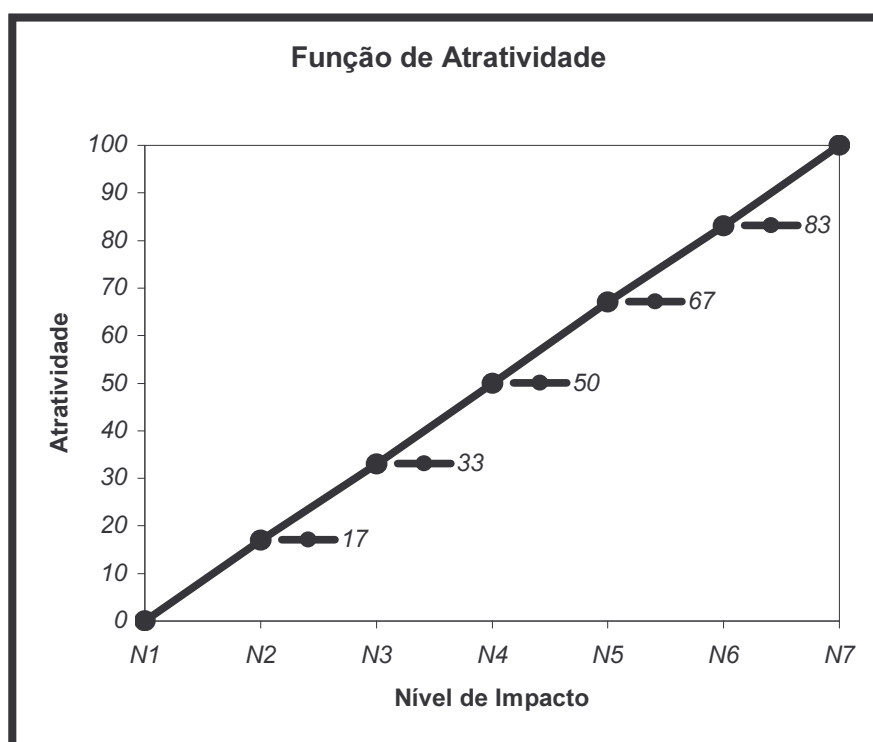


Figura 54. Função de Atratividade para o PVE6.1

PVE6.2 – Repetibilidade

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		2	3	3	4	5	6	100
N ₆			2	3	3	4	5	83
N ₅				2	3	3	4	67
N ₄					2	3	3	50
N ₃						2	3	33
N ₂							2	17
N ₁								0

Tabela 55. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE6.2

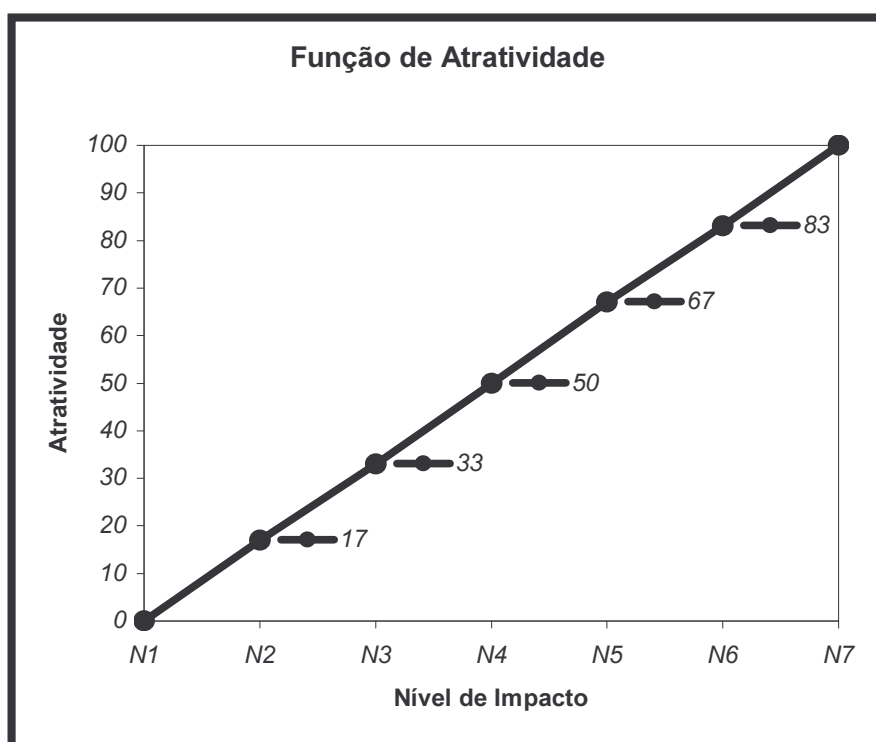


Figura 55. Função de Atratividade para o PVE6.2

PVE7.1 – Ferramenta de Maior Comprimento

	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₆		4	4	5	6	6	100
N ₅			4	5	5	6	82
N ₄				4	5	5	64
N ₃					4	5	41
N ₂						4	18
N ₁							0

Tabela 56. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE7.1

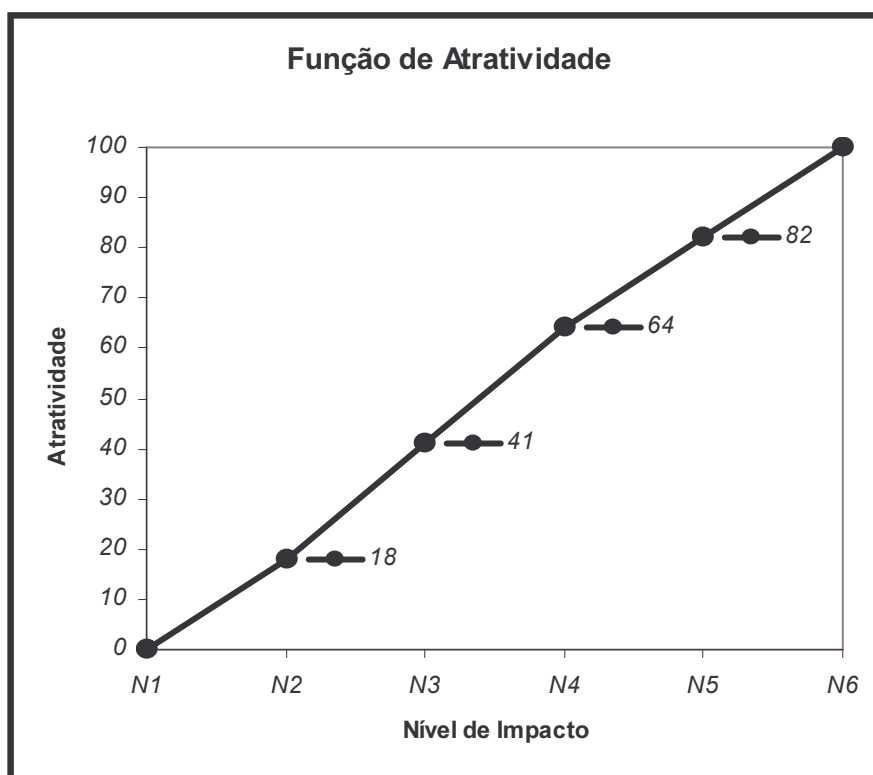


Figura 56. Função de Atratividade para o PVE7.1

PVE7.2 – Ferramenta de Maior Diâmetro

	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₅		3	4	6	6	100
N ₄			3	4	5	69
N ₃				3	4	46
N ₂					3	23
N ₁						0

Tabela 57. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE7.2

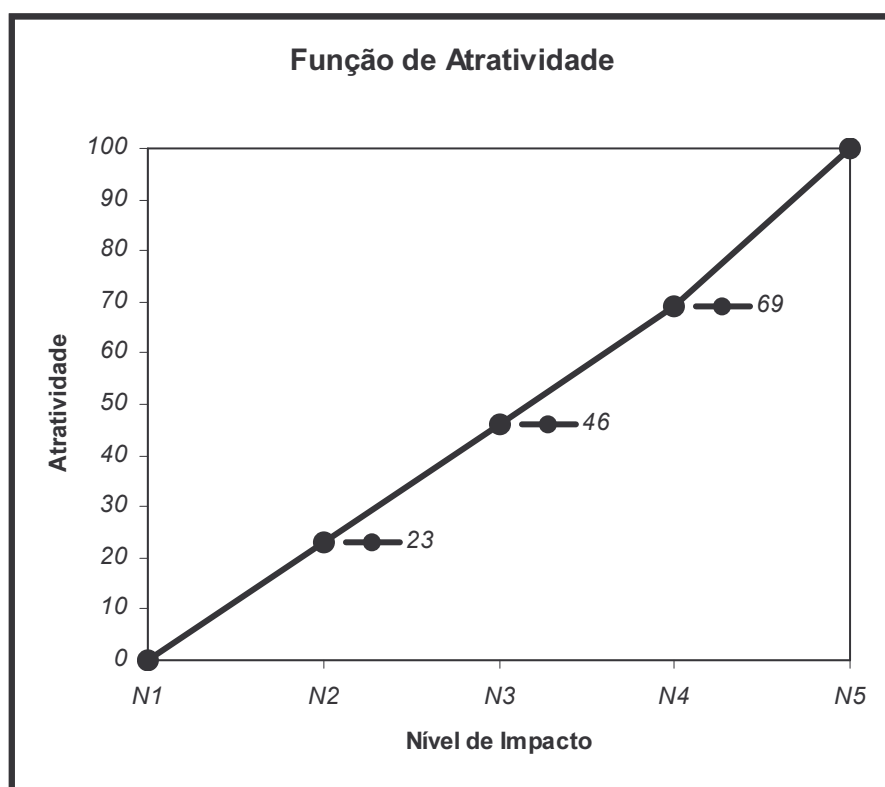


Figura 57. Função de Atratividade para o PVE7.2

PVE7.3 – Ferramenta de Maior Peso

	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₅		4	5	6	6	100
N ₄			4	5	6	75
N ₃				4	5	50
N ₂					4	25
N ₁						0

Tabela 58. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE7.3

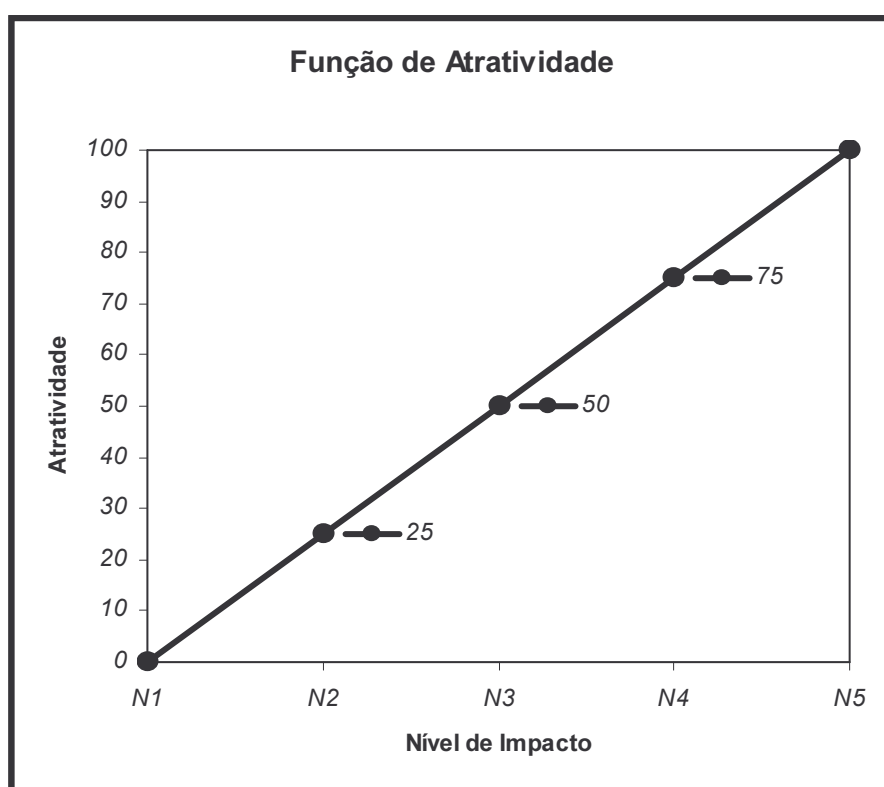


Figura 58. Função de Atratividade para o PVE7.3

PVE7.4 – Capacidade de Ferramentas no Magazine

	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₆		3	4	4	5	6	100
N ₅			3	4	5	6	82
N ₄				3	4	5	65
N ₃					3	4	47
N ₂						3	24
N ₁							0

Tabela 59. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE7.4

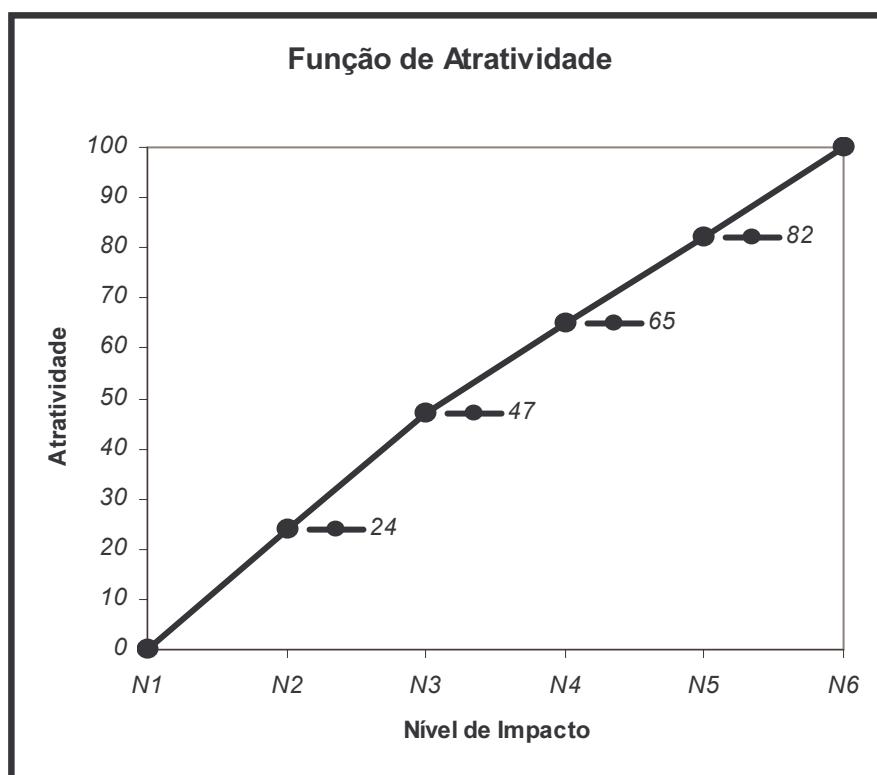


Figura 59. Função de Atratividade para o PVE7.4

PVE8.1 – Entrada

	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₄		3	4	5	100
N ₃			3	4	67
N ₂				3	33
N ₁					0

Tabela 60. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE8.1

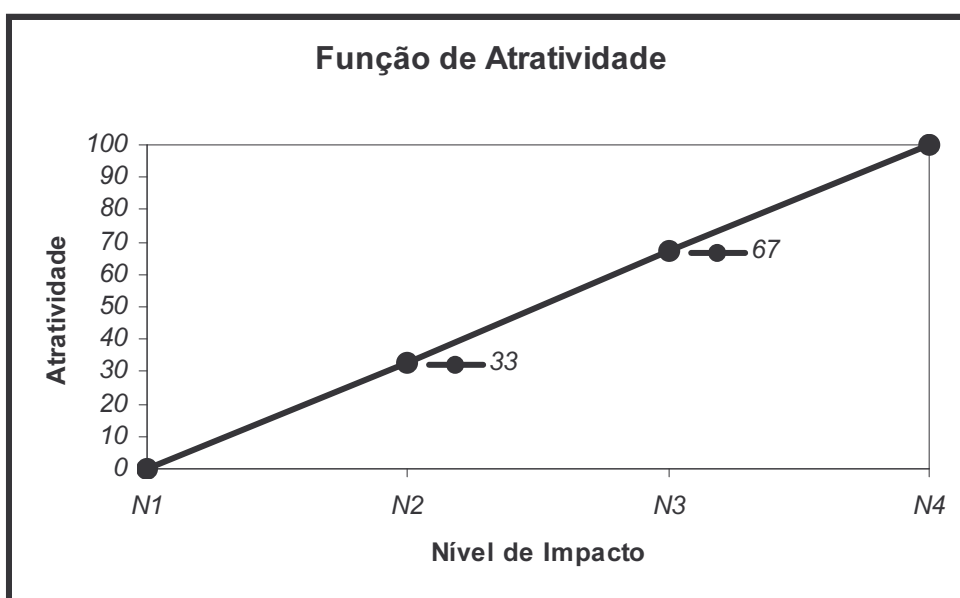


Figura 60. Função de Atratividade para o PVE8.1

PVE 8.2 – Flexibilidade de Financiamento

	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₅		3	4	5	6	100
N ₄			3	4	5	75
N ₃				3	4	50
N ₂					3	25
N ₁						0

Tabela 61. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE8.2

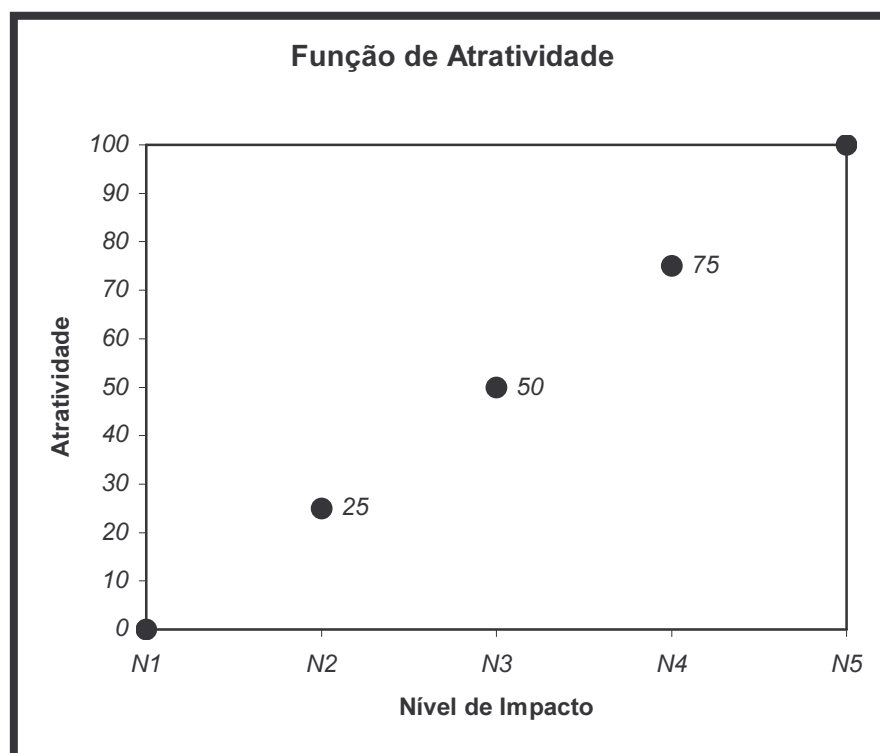


Figura 61. Função de Atratividade para o PVE8.2

PVE8.3 – Preço

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		4	5	5	6	6	6	100
N ₆			4	5	5	6	6	83
N ₅				4	5	5	5	65
N ₄					4	5	5	48
N ₃						4	4	30
N ₂							3	13
N ₁								0

Tabela 62. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE8.3

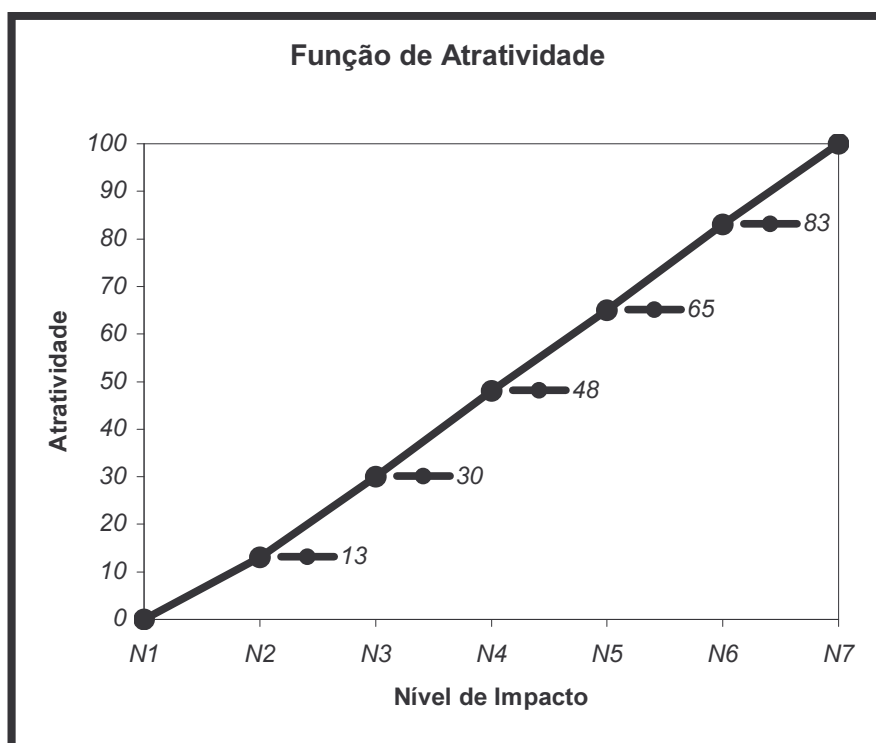


Figura 62. Função de Atratividade para o PVE8.3

PVF9 – Prazo de Entrega

	N ₇	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₇		1	2	3	4	5	6	100
N ₆			1	2	3	4	5	83
N ₅				1	2	3	4	67
N ₄					1	2	3	50
N ₃						1	2	33
N ₂							1	17
N ₁								0

Tabela 63. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVF9

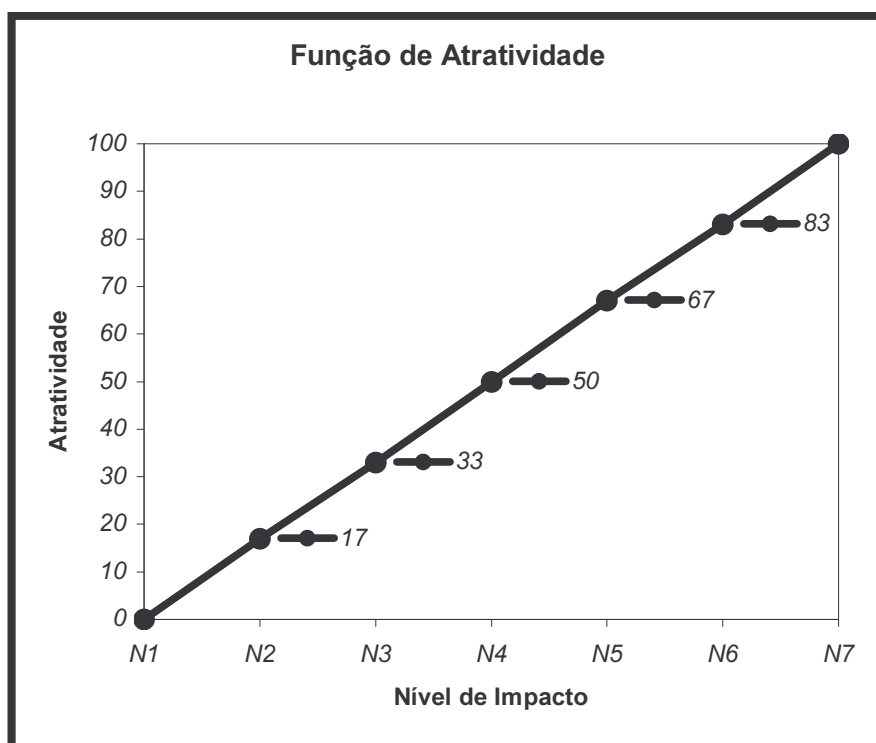


Figura 63. Função de Atratividade para o PVE9

PVF10 – Tempo de Garantia

	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₄		3	5	6	100
N ₃			4	5	73
N ₂				4	36
N ₁					0

Tabela 64. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVF10

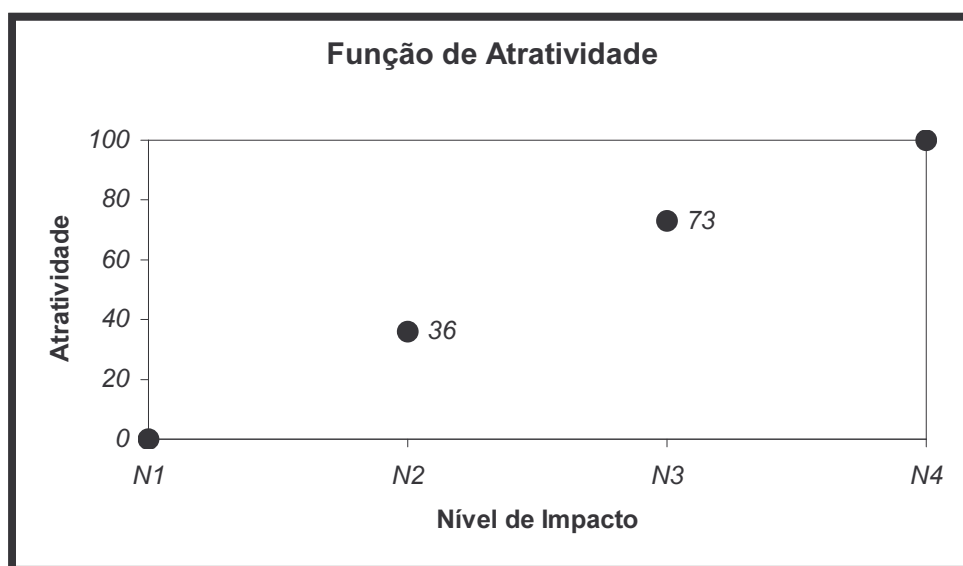


Figura 64. Função de Atratividade para o PVE10

PVE11.1 – Competência Técnica

	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₄		3	5	6	100
N ₃			4	5	73
N ₂				4	36
N ₁					0

Tabela 65. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE11.1

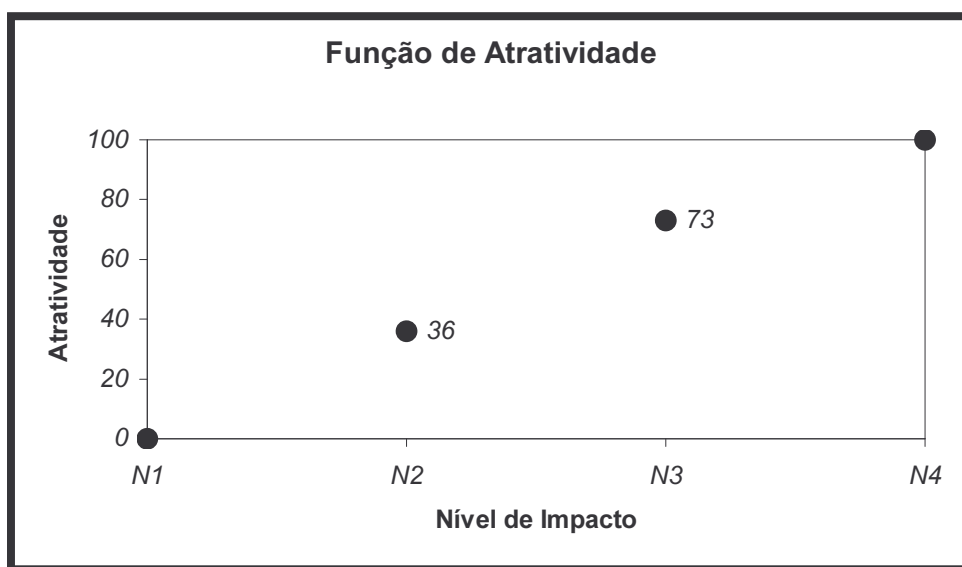


Figura 65. Função de Atratividade para o PVE11.1

PVE11.2 – Tempo para se Deslocar

	N ₆	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₆		2	3	3	4	5	100
N ₅			2	2	3	4	75
N ₄				2	2	3	50
N ₃					2	2	33
N ₂						1	8
N ₁							0

Tabela 66. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE11.2

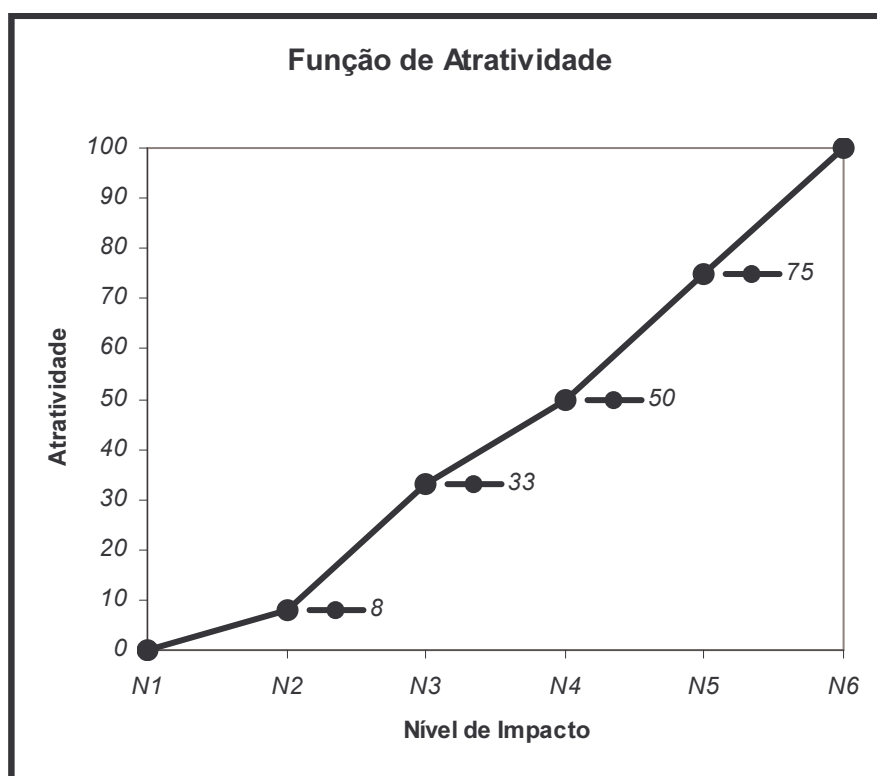


Figura 66. Função de Atratividade para o PVE11.2

PVE12.1 – Características do Treinamento Oferecido

	N ₅	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₅		2	4	4	5	100
N ₄			3	4	4	82
N ₃				3	4	55
N ₂					3	27
N ₁						0

Tabela 67. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE12.1

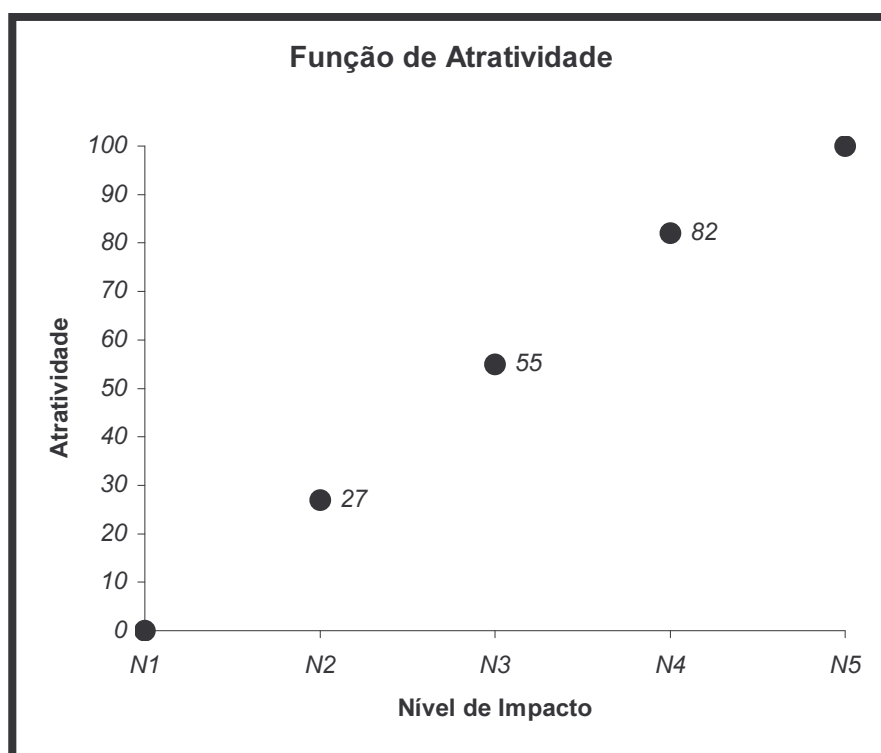


Figura 67. Função de Atratividade para o PVE12.1

PVE12.2 – Forma de Instalação

	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₄		3	4	5	100
N ₃			3	4	67
N ₂				3	33
N ₁					0

Tabela 68. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE12.2

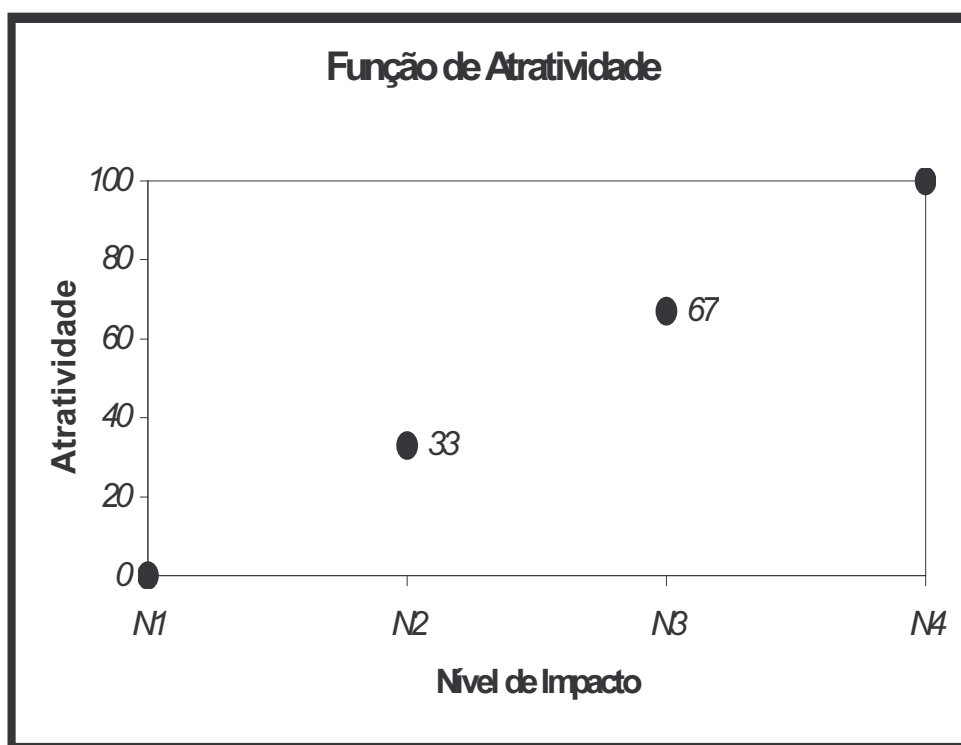


Figura 68. Função de Atratividade para o PVE12.2

PVE12.3 – Possibilidade de Retreinamento

	N ₃	N ₂	N ₁	Escala Macbeth
N ₃		4	5	100
N ₂			4	50
N ₁				0

Tabela 69. Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o PVE12.3

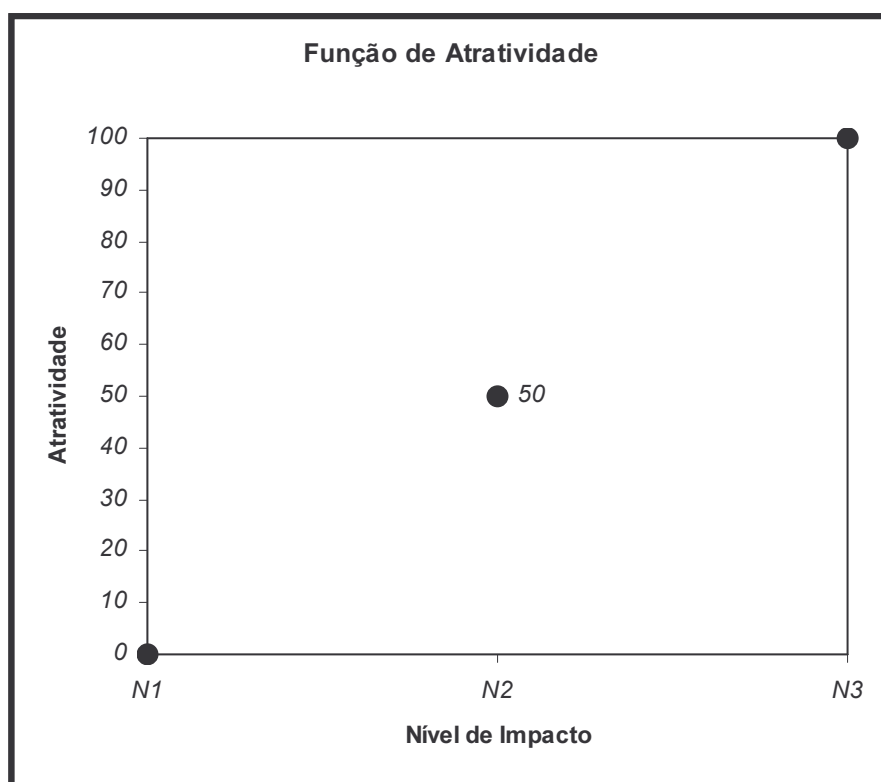


Figura 69. Função de Atratividade para o PVE12.3

Uma vez elaborados os descritores dos critérios a serem utilizados na avaliação e/ou seleção de um centro de usinagem, inicia-se o processo de avaliação dos níveis de impacto de cada descritor segundo aspectos locais e globais.

As informações obtidas até então já serviriam para a obtenção de um perfil de impacto dos cada opção de centro de usinagem, mas os dados obtidos seriam apenas de caráter absoluto.

A quantificação da preferência de um centro de usinagem em relação aos demais, é realizada pela elaboração de uma escala de preferências onde os fatores subjetivos do decisor devem ser contemplados.

9.6. A Avaliação no Modelo Multicritério

O processo de avaliação do problema abordado, utilizando o modelo multicritério de apoio ao processo decisório, se faz de início pela construção das escalas de valor cardinais para cada um dos pontos de vista considerados.

A determinação das taxas de substituição entre os pontos de vista é então realizada, para que em seguida seja formulado o impacto de cada ação potencial, ou seja, de cada centro de usinagem, frente a cada ponto de vista fundamental considerado.

O processo de avaliação culmina com a validação do modelo pela análise de robustez do modelo, com o auxílio de um software.

9.6.1 Definição das escalas de preferência local

Utilizando as informações obtidas na fase da estruturação a cerca dos pontos de vista fundamentais, com a construção de seus descritores, inicia-se o processo iterativo entre decisor e facilitador, em busca dos juízos de valor relacionados às diferenças de atratividade

existentes entre os níveis de impacto dos descritores. Tal procedimento se faz necessário para a obtenção da escala de preferências local do decisor, sobre cada ponto de vista fundamental.

O recurso de auxílio à construção de escalas, sugerido na fundamentação teórica, o MACBETH entra em ação com a elaboração das matrizes de juízo de valor sobre cada um dos descritores construídos. Tal matriz permitirá com o auxílio do software MACBETH, a formulação da escala de preferência local.

As tabelas apresentadas a seguir tabelas, contém as matrizes de juízos de valor para os pontos de vista fundamentais, mencionados anteriormente.

9.6.2 Definição das escalas de preferência global – Inter PVF's

Em todo processo de avaliação multicritério, as características relevadas devem apresentar sua importância relativa claramente quantificada perante a análise global do problema.

Para a obtenção da escala de preferências do decisor, procede-se a determinação das taxas de substituição entre os pontos de vista fundamentais.

9.6.2.2 Taxas de Substituição

Segundo Bana e Costa e Vasnick [1994], a eficácia do processo de determinação da taxas de substituição só existirá quando da comparação pareada entre os pontos de vista fundamentais, considerando aspectos de preferência entre seus níveis de impacto BOM e NEUTRO, para cada descritor.

No caso da seleção de um centro de usinagem, entende-se por BOM uma máquina que apresente um conjunto de níveis de impacto considerados bons em todos os pontos de vista. A opção NEUTRO refletirá uma máquina cujas avaliações locais não sejam nem atrativas nem repulsivas, ou seja, uma máquina não ideal, mas de características aceitáveis.

A Tabela 70 são apresentados os níveis BOM e NEUTRO para os referidos pontos de vista fundamentais, segundo os olhos do decisor.

Nível de Impacto Pontos de Vista	Nível “Bom”	Nível “Neutro”
PVE1.1	N ₇	N ₃
PVE1.2	N ₅	N ₁
PVE1.3	N ₅	N ₂
PVE1.4	N ₅	N ₂
PVE1.5.1	N ₅	N ₂
PVE1.5.2	N ₅	N ₂
PVE1.5.3	N ₅	N ₂
PVF2	N ₂	N ₁
PVE3.1	N ₅	N ₂
PVE3.2	N ₅	N ₂
PVE3.3	N ₅	N ₂
PVE4.1	N ₅	N ₂
PVE4.2.1	N ₆	N ₁
PVE4.2.2	N ₆	N ₁
PVF5	N ₄	N ₁
PVE6.1	N ₅	N ₁
PVE6.2	N ₅	N ₁
PVE7.1	N ₅	N ₁
PVE7.2	N ₄	N ₁
PVE7.3	N ₄	N ₁
PVE7.4	N ₅	N ₁
PVE8.1	N ₃	N ₁
PVE8.2	N ₆	N ₂
PVE8.3	N ₄	N ₁
PVF9	N ₃	N ₁
PVF10	N ₄	N ₂
PVE11.1	N ₃	N ₂
PVE11.2	N ₅	N ₁
PVE12.1	N ₄	N ₂
PVE12.2	N ₃	N ₂
PVE12.3	N ₂	N ₁

Tabela 70. Níveis Bom e Neutro para os descritores

Após a definição destes níveis em todos os descritores, busca-se a determinação das taxas de substituição, obtidas a partir da ordenação dos pontos de vista e realizada com um processo de análise relativa dos níveis citados anteriormente, pelo decisor segundo seus juízos de preferência. Tal análise comparativa é feita quando da resposta ao seguinte questionamento:

Estando os pontos de vista PVF1 e PVF2 ambos no nível neutro, seria mais atrativo passar para o nível bom no PVF1 ou no PVF2, mantendo um nível constante em todos os demais pontos de vista?

O decisor irá proceder a escolha de uma das hipóteses propostas, tida como a mais atrativa, delimitando desta maneira parâmetros para a construção da matriz de ordenação entre os pontos de vista elementares e entre os pontos de vista fundamentais.

A seguir são apresentadas as matrizes de ordenação entre os pontos de vista elementares componentes dos pontos de vista fundamentais, e a seguir a escala Macbeth e as referidas taxas de substituição.

	PVE 1.1	PVE1. 2	PVE1. 3	PVE1. 4	PVE1. 5	Σ	Ordenação
PVE1.1	-	1	1	1	1	4	1 ^o
PVE1.2	0	-	1	0	0	1	4 ^o
PVE1.3	0	0	-	0	0	0	5 ^o
PVE1.4	0	1	1	-	1	3	2 ^o
PVE1.5	0	1	1	0	-	2	3 ^o

Tabela 71. Ordem de importância dos PVE's do PVF1 – Fatores Influentes no Tempo Efetivo de Execução da Peça

	PVE1.5.3	PVE1.5.2	PVE1.5.1	Σ	Ordenação
PVE1.5.3	-	0	0	0	3 ^o
PVE1.5.2	1	-	0	1	2 ^o
PVE1.5.1	1	1	-	2	1 ^o

Tabela 72. Ordem de importância dos PVE's do PVE1.5 – Velocidade de Avanço Rápido dos Eixos

	PVE3.3	PVE3.2	PVE3.1	Σ	Ordenação
PVE3.3	-	0	0	0	3 ^o
PVE3.2	1	-	0	1	2 ^o
PVE3.1	1	1	-	2	1 ^o

Tabela 73. Ordem de importância dos PVE's do PVE3 – Cursos dos Eixos

	PVE4.2	PVE4.1	Σ	Ordenação
PVE4.2	-	1	1	1 ^o
PVE4.1	0	-	0	2 ^o

Tabela 74. Ordem de importância dos PVE's do PVF4 – *Pallet*

	PVE4.2.2	PVE4.2.1	Σ	Ordenação
PVE4.2.2	-	0	0	2 ^o
PVE4.2.1	1	-	1	1 ^o

Tabela 75. Ordem de importância dos PVE's do PVE4.2 – Dimensões

	PVE6.2	PVE6.1	Σ	Ordenação
PVE6.2	-	0	0	2 ^o
PVE6.1	1	-	1	1 ^o

Tabela 76. Ordem de importância dos PVE's do PVF6 – Precisão

	PVE7.4	PVE7.3	PVE7.2	PVE7.1	Σ	Ordenação
PVE7.4	-	1	1	1	3	1 ^o
PVE7.3	0	-	0	0	0	4 ^o
PVE7.2	0	1	-	1	2	2 ^o
PVE7.1	0	1	0	-	1	3 ^o

Tabela 77. Ordem de importância dos PVE's do PVF7 – Trocador Automático de Ferramentas

	PVE8.3	PVE8.2	PVE8.1	Σ	Ordenação
PVE8.3	-	1	1	2	1 ^o
PVE8.2	0	-	0	0	3 ^o
PVE8.1	0	1	-	1	2 ^o

Tabela 78. Ordem de importância dos PVE's do PVF8 – Custo

	PVE11.2	PVE11.1	Σ	Ordenação
PVE11.2	-	0	0	2 ^o
PVE11.1	1	-	1	1 ^o

Tabela 79. Ordem de importância dos PVE's do PVF11 – Assistência Técnica

	PVE12.3	PVE12.2	PVE12.1	Σ	Ordenação
PVE12.3	-	0	0	0	3 ^o
PVE12.2	1	-	1	2	1 ^o
PVE12.1	1	0	-	1	2 ^o

Tabela 80. Ordem de importância dos PVE's do PVF12 – Entrega Técnica

	PVE1.1	PVE1.4	PVE1.5	PVE1.2	PVE1.3	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE1.1		2	3	4	5	6	100	33
PVE1.4			2	3	4	5	82	27
PVE1.5				3	3	4	64	21
PVE1.2					2	3	36	12
PVE1.3						2	18	6
A ₀							0	0

Tabela 81. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF1 – Fatores Influentes no Tempo Efetivo de Execução da Peça

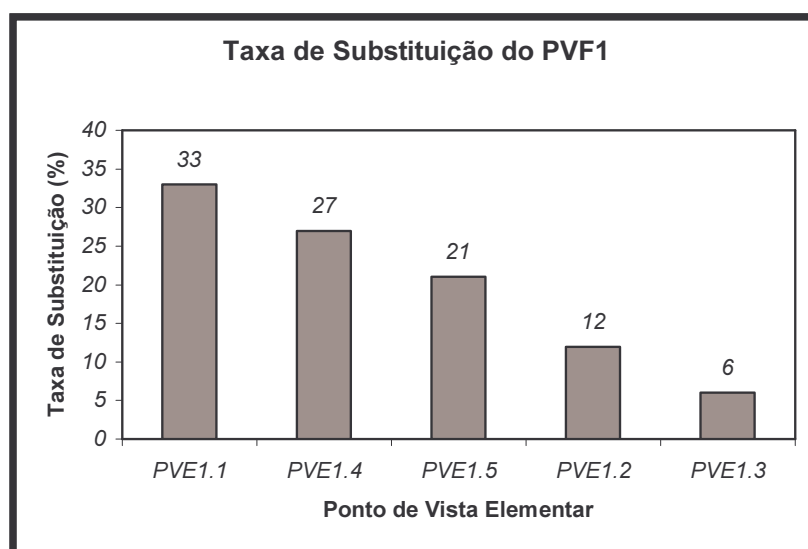


Figura 70. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF1.

	PVE1.5.1	PVE1.5.2	PVE1.5.3	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE1.5.1		3	4	5	100	50
PVE1.5.2			3	4	67	33,5
PVE1.5.3				3	33	16,5
A ₀					0	0

Tabela 82. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVE1.5 – Velocidade de Avanço Rápido dos Eixos

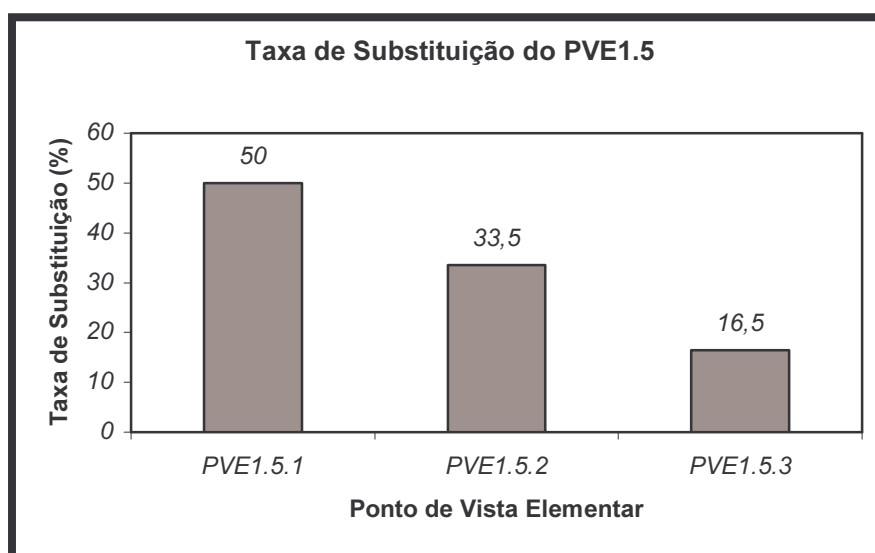


Figura 71. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVE1.5.

	PVE3.1	PVE3.2	PVE3.3	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE3.1		3	4	5	100	50
PVE3.2			3	4	67	33,5
PVE3.3				3	33	16,5
A ₀					0	0

Tabela 83. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF3 – Cursos dos Eixos

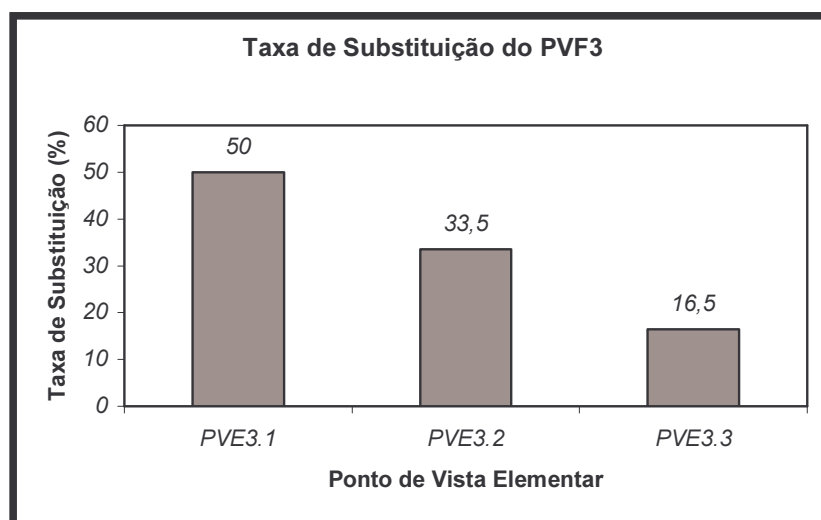


Figura 72. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF3.

	PVE4.2	PVE4.1	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE4.2		2	3	100	67
PVE4.1			2	50	33
A ₀				0	0

Tabela 84. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF4 – *Pallet*

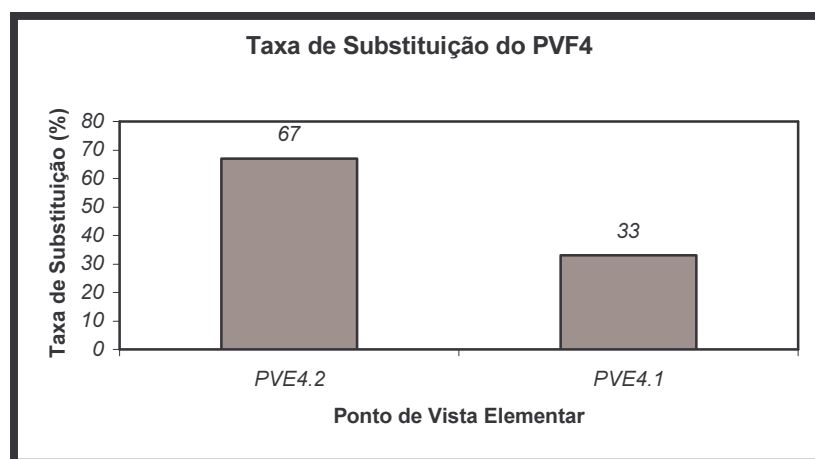


Figura 73. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF4.

	PVE4.2.1	PVE4.2.2	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE4.2.1		2	3	100	67
PVE4.2.2			2	50	33
A ₀				0	0

Tabela 85. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVE4.2 – Dimensões

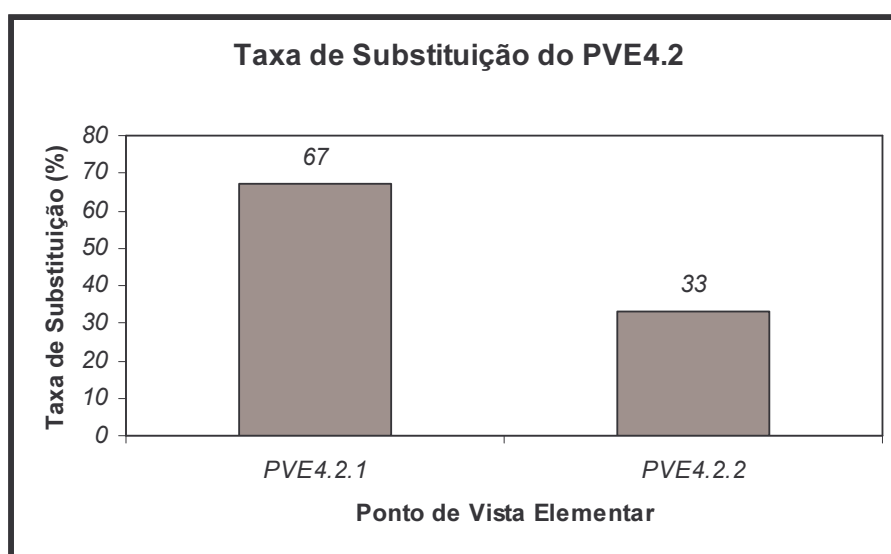


Figura 74. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVE4.2.

	PVE6.1	PVE6.2	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE6.1		3	4	100	67
PVE6.2			3	50	33
A ₀				0	0

Tabela 86. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF6 – Precisão

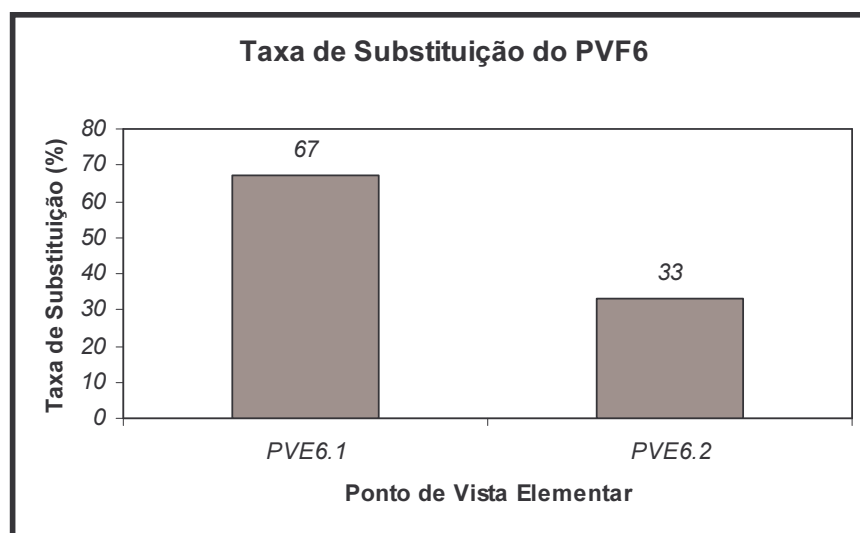


Figura 75. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF6.

	PVE7.4	PVE7.2	PVE7.1	PVE7.3	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE7.4		3	3	4	5	100	39
PVE7.2			3	4	4	77	30
PVE7.1				3	4	54	21
PVE7.3					3	23	9
A ₀						0	0

Tabela 89. Ordem de importância dos PVE's do PVF7 – Trocador Automático de Ferramentas

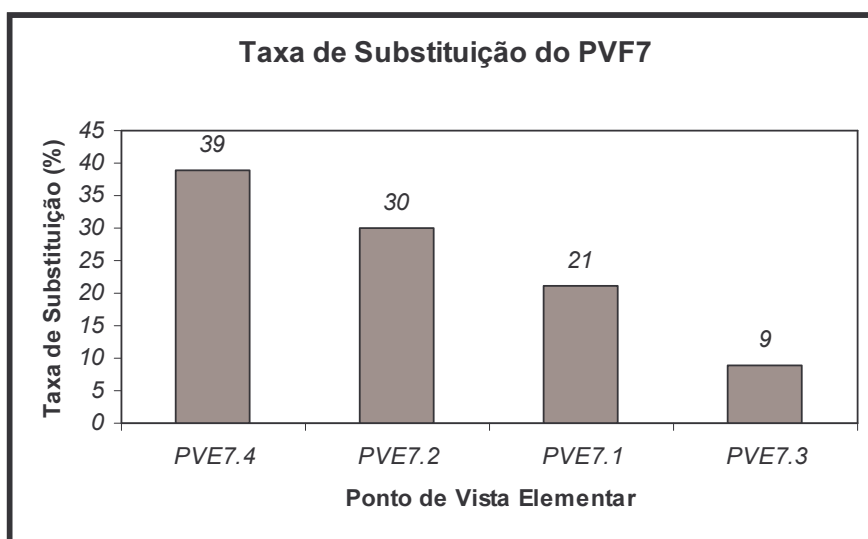


Figura 76. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF7.

	PVE8.3	PVE8.1	PVE8.2	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE8.3		3	5	6	100	48
PVE8.1			5	5	75	36
PVE8.2				4	33	16
A ₀					0	0

Tabela 88. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF8 – Custo

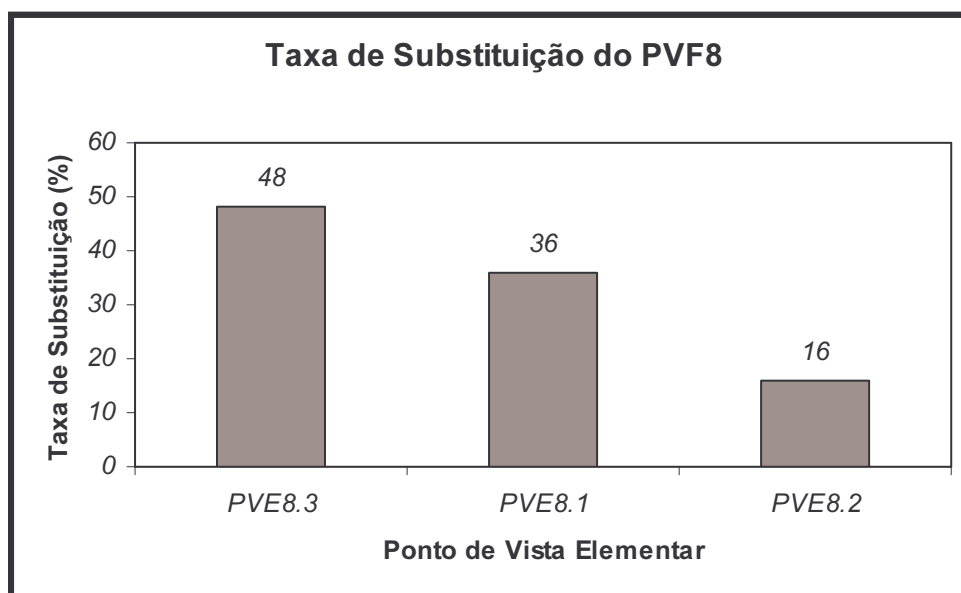


Figura 77. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF8.

	PVE11.1	PVE11.2	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE11.1		5	6	100	67
PVE11.2			5	50	33
A ₀				0	0

Tabela 89. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF11 – Assistência Técnica

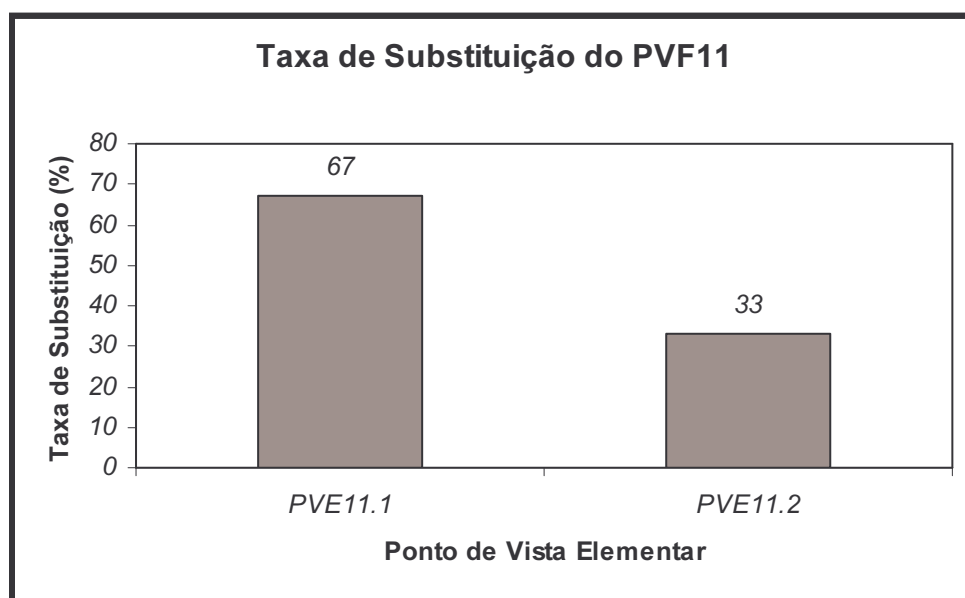


Figura 78. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF11.

	PVE12.2	PVE12.1	PVE12.3	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVE12.2		3	4	5	100	54
PVE12.1			2	3	57	31
PVE12.3				2	29	15
A ₀					0	0

Tabela 90. Matriz de juízos de valor com escala de atratividade e taxas de substituição para os PVE's do PVF12 – Entrega Técnica

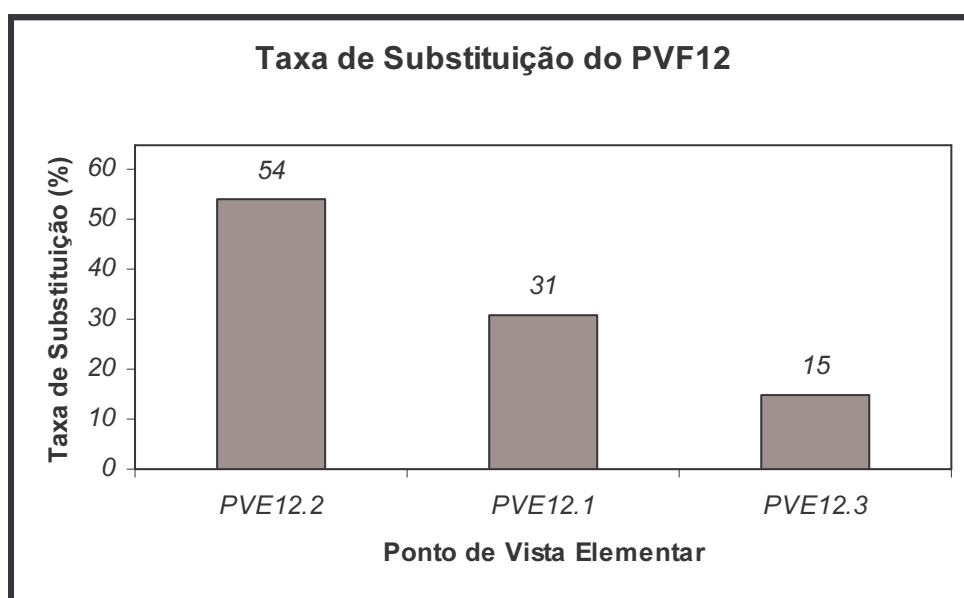


Figura 79. Taxas de Substituição entre os PVEs isoláveis do PVF12.

Os mesmos procedimentos adotados para os pontos de vista elementares são adotados para a determinação das taxas de substituição entre os pontos de vista fundamentais abordados no processo de escolha de um centro de usinagem.

	PVF12	PVF11	PVF10	PVF9	PVF8	PVF7	PVF6	PVF5	PVF4	PVF3	PVF2	PVF1	Σ	Ordem
PVF12	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12 ^o
PVF11	1	-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10 ^o
PVF10	1	1	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9 ^o
PVF9	1	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11 ^o
PVF8	1	1	1	1	-	0	0	0	0	0	0	0	4	8 ^o
PVF7	1	1	1	1	1	-	0	0	0	0	1	0	6	6 ^o
PVF6	1	1	1	1	1	1	-	0	1	1	1	1	10	2 ^o
PVF5	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	11	1 ^o
PVF4	1	1	1	1	1	1	0	0	-	0	1	0	7	5 ^o
PVF3	1	1	1	1	1	1	0	0	1	-	1	0	8	4 ^o
PVF2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-	0	5	7 ^o
PVF1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	-	9	3 ^o

Tabela 91. Ordem de importância dos PVF's

Identificada a ordenação dos pontos de vista fundamentais, realiza-se a comparação pareada entre estes, para a obtenção da escala de preferência e em consequência as taxas de substituição de cada ponto de vista perante a avaliação global do processo de escolha de um centro de usinagem.

	PVF5	PVF6	PVF1	PVF3	PVF4	PVF7	PVF2	PVF8	PVF10	PVF11	PVF9	PVF12	A ₀	Escala Macbeth	Taxas de Substituição
PVF5		1	3	3	4	4	5	6	6	6	6	6	6	100	14,92
PVF6			3	3	3	4	4	6	6	6	6	6	6	98	14,64
PVF1				2	2	3	4	6	6	6	6	6	6	93	13,81
PVF3					3	3	4	6	6	6	6	6	6	89	13,26
PVF4						3	4	6	6	6	6	6	6	83	12,43
PVF7							4	6	6	6	6	6	6	78	11,60
PVF2								5	5	5	6	6	6	62	9,12
PVF8									2	3	3	4	4	22	3,31
PVF10										1	3	3	4	19	2,76
PVF11											3	3	4	17	2,49
PVF9												2	3	7	1,10
PVF12													2	4	0,55
A₀														0	0

Tabela 92. Matriz de juízos de valor para determinação das taxas de substituição entre os PVF's.

Simplificando a tabela acima, obtém-se a Tabela 93, na qual consta o ponto de vista fundamental, os pontos de vista elementares que os compõe e as importância relativa na análise do problema, indicados por \underline{W}_j .

Critérios de avaliação			Wj / PVE's	Wj /PVF's
Fatores Influentes no Tempo Efetivo de Execução da Peça	Rotação		33,0%	
	Tempo de troca de ferramenta de cavaco a cavaco		12,0%	
	Tempo de troca de pallet		6,0%	
	Velocidade de avanço de corte dos eixos X, Y, Z		27,0%	
	Velocidade de avanço rápido dos eixos	Eixo X	21,0%	50,0%
		Eixo Y		33,5%
		Eixo Z		16,5%
Comando CNC	Comando CNC		*****	9,12%
Cursos dos Eixos	Eixo X		50,0%	
	Eixo Y		33,5%	
	Eixo Z		16,5%	
Pallet	Carga admissível		33,0%	
	Dimensões	Direção X	67,0%	67,0%
		Direção Y		33,0%
Potência do Motor Principal	*****		*****	14,92%
Precisão	Posicionamento		67,0%	
	Repetibilidade		33,0%	
Trocador Automático de Ferramentas	Ferramenta de maior comprimento		21,0%	
	Ferramenta de maior diâmetro		30,0%	
	Ferramenta de maior peso		9,0%	
	Capacidade de ferramentas no magazine		39,0%	
Custo	Entrada		36,0%	
	Flexibilidade de Financiamento		16,0%	
	Preço		48,0%	
Benefício	Prazo de entrega		*****	1,10%
	Tempo de garantia		*****	2,76%
Assistência Técnica	Competência técnica		67,0%	
	Tempo para se deslocar		33,0%	
Entrega Técnica	Características do treinamento oferecido		31,0%	
	Forma de instalação		54,0%	
	Possibilidade de retreinamento		15,0%	

Tabela 93 Taxas de substituição para a ponderação dos PVF's .

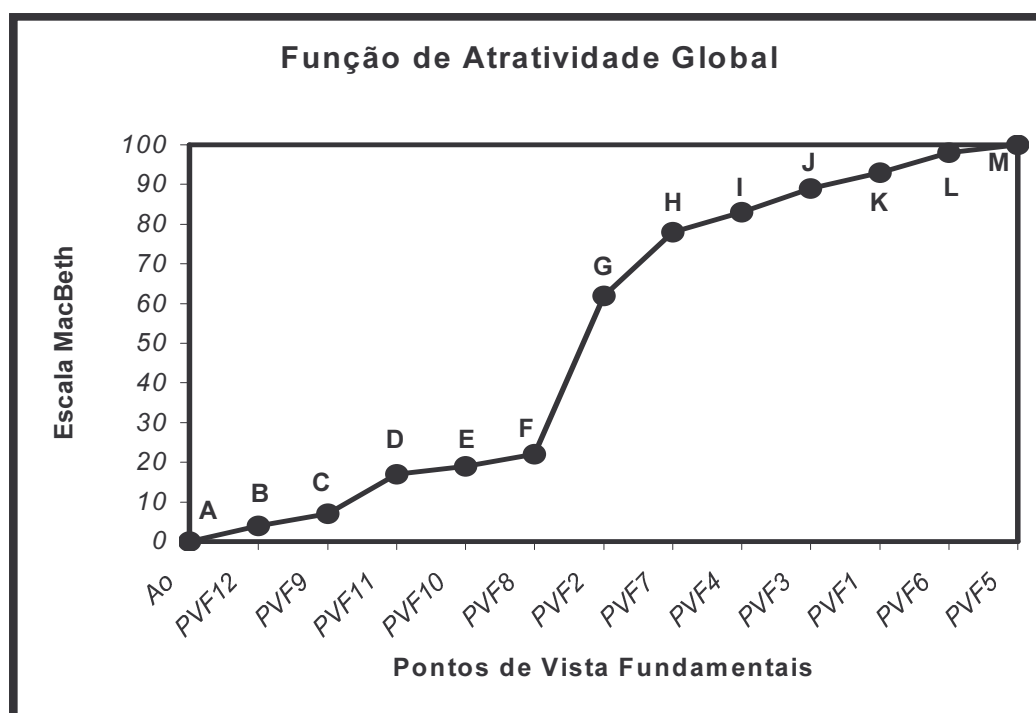


Figura 80. Escala de valor inter-PVF's

De posse das informações a cerca de cada ponto de vista fundamental, prossegue-se com a avaliação das alternativas potenciais, ou seja, das possibilidades de centros de usinagem a serem avaliadas ou adquiridas por uma empresa.

9.7. Avaliação Multicritério de Centros de Usinagem

Nesta etapa serão avaliadas oito máquinas, sendo contempladas as fabricantes DAEWOO, YANG, WOTAN, FEELER, ROMI, FAMUD, MAZAK e OKUMA, não necessariamente nesta ordem, identificadas por M_k , com $k = 1...8$, tendo em vista o caráter de aplicabilidade de uma metodologia e não de avaliação dos fabricantes de centros de usinagem.

Para cada PVF o decisor identificou o nível de impacto que melhor caracteriza a máquina avaliada, e a partir daí, com o auxílio das escalas de valor cardinais, qual a pontuação obtida pelos equipamentos em cada PV, conforme consta na Tabela 94.

Matriz de Indicadores de Impacto										
	Nível de Impacto									
PV	Bom	Neutro	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
PVE1.1	N ₇ 100	N ₃ 40	N ₄ 48	N ₂ 24	N ₄ 48	N ₅ 68	N ₃ 40	N ₄ 48	N ₅ 68	N ₄ 48
PVE1.2	N ₅ 64	N ₁ 0	N ₁ 0	N ₄ 50	N ₃ 36	N ₄ 50	N ₂ 14	N ₄ 50	N ₃ 36	N ₂ 14
PVE1.3	N ₅ 80	N ₂ 20	N ₃ 40	N ₂ 20	N ₄ 60	N ₅ 80	N ₂ 20	N ₅ 80	N ₄ 60	N ₅ 80
PVE1.4	N ₅ 53	N ₂ 13	N ₃ 27	N ₁ 0	N ₆ 77	N ₅ 53	N ₆ 77	N ₄ 40	N ₃ 27	N ₃ 27
PVE1.5.1	N ₅ 69	N ₂ 8	N ₆ 85	N ₆ 85	N ₄ 38	N ₅ 69	N ₆ 85	N ₅ 69	N ₄ 38	N ₄ 38
PVE1.5.2	N ₅ 69	N ₂ 8	N ₆ 85	N ₆ 85	N ₃ 23	N ₅ 69	N ₄ 38	N ₆ 85	N ₅ 69	N ₄ 38
PVE1.5.3	N ₅ 69	N ₂ 8	N ₆ 85	N ₄ 38	N ₄ 38	N ₅ 69	N ₆ 85	N ₅ 69	N ₄ 38	N ₄ 38
PVF2	N ₂ 50	N ₁ 0	N ₃ 100	N ₃ 100	N ₁ 0	N ₂ 50	N ₃ 100	N ₂ 50	N ₁ 0	N ₂ 50
PVE3.1	N ₅ 69	N ₂ 8	N ₇ 100	N ₄ 36	N ₅ 69	N ₄ 38	N ₅ 69	N ₅ 69	N ₆ 85	N ₄ 38
PVE3.2	N ₅ 69	N ₂ 8	N ₃ 23	N ₁ 0	N ₃ 23	N ₄ 38	N ₄ 38	N ₅ 69	N ₄ 38	N ₅ 69
PVE3.3	N ₅ 69	N ₂ 8	N ₄ 38	N ₄ 38	N ₃ 23	N ₃ 23	N ₄ 38	N ₃ 23	N ₆ 85	N ₄ 38
PVE4.1	N ₅ 62	N ₁ 0	N ₇ 100	N ₁ 0	N ₆ 77	N ₆ 77	N ₅ 62	N ₄ 46	N ₅ 62	N ₄ 46
PVE4.2.1	N ₆ 100	N ₁ 0	N ₃ 40	N ₄ 60	N ₁ 0	N ₅ 80	N ₄ 60	N ₄ 60	N ₃ 40	N ₅ 80
PVE4.2.2	N ₆ 100	N ₁ 0	N ₄ 63	N ₄ 63	N ₁ 0	N ₅ 81	N ₄ 63	N ₄ 63	N ₃ 44	N ₅ 81
PVF5	N ₄ 56	N ₁ 0	N ₄ 56	N ₁ 0	N ₂ 19	N ₃ 38	N ₃ 38	N ₂ 19	N ₂ 19	N ₂ 19
PVE6.1	N ₅ 67	N ₁ 0	N ₁ 0	N ₅ 67	N ₆ 83	N ₃ 33	N ₅ 67	N ₄ 50	N ₅ 67	N ₃ 33
PVE6.2	N ₅ 67	N ₁ 0	N ₃ 33	N ₆ 83	N ₆ 83	N ₅ 67	N ₄ 50	N ₅ 67	N ₆ 83	N ₅ 67
PVE7.1	N ₅ 82	N ₁ 0	N ₅ 82	N ₅ 82	N ₆ 100	N ₅ 82	N ₄ 64	N ₅ 82	N ₆ 100	N ₅ 82
PVE7.2	N ₄ 69	N ₁ 0	N ₁ 0	N ₅ 100	N ₄ 69	N ₃ 46	N ₄ 69	N ₄ 69	N ₅ 100	N ₄ 69
PVE7.3	N ₄ 75	N ₁ 0	N ₃ 50	N ₂ 25	N ₄ 75	N ₃ 50	N ₄ 75	N ₃ 50	N ₂ 25	N ₂ 25
PVE7.4	N ₅ 82	N ₁ 0	N ₃ 47	N ₃ 47	N ₄ 65	N ₅ 82	N ₃ 47	N ₄ 65	N ₄ 65	N ₃ 47
PVE8.1	N ₃ 67	N ₁ 0	N ₂ 33	N ₂ 33	N ₁ 0	N ₂ 33	N ₂ 33	N ₃ 67	N ₂ 33	N ₁ 0
PVE8.2	N ₅ 100	N ₂ 25	N ₂ 25	N ₁ 0	N ₂ 25	N ₃ 50	N ₂ 25	N ₂ 25	N ₁ 0	N ₂ 25
PVE8.3	N ₄ 48	N ₁ 0	N ₆ 83	N ₃ 30	N ₄ 48	N ₄ 48	N ₅ 65	N ₆ 83	N ₃ 30	N ₅ 65
PVF9	N ₃ 33	N ₁ 0	N ₅ 67	N ₁ 0	N ₃ 33	N ₄ 50	N ₃ 33	N ₂ 17	N ₂ 17	N ₃ 33
PVF10	N ₄ 100	N ₂ 36	N ₂ 36	N ₂ 36	N ₂ 36	N ₃ 73	N ₂ 36	N ₂ 36	N ₃ 73	N ₂ 36
PVE11.1	N ₃ 73	N ₂ 36	N ₂ 36	N ₃ 73	N ₂ 36	N ₂ 36	N ₃ 73	N ₃ 73	N ₂ 36	N ₂ 36
PVE11.2	N ₅ 75	N ₁ 0	N ₅ 75	N ₃ 33	N ₃ 33	N ₅ 75	N ₄ 50	N ₂ 8	N ₅ 75	N ₂ 8
PVE12.1	N ₄ 82	N ₂ 27	N ₄ 82	N ₅ 100	N ₅ 100	N ₄ 82	N ₅ 100	N ₄ 82	N ₄ 82	N ₅ 100
PVE12.2	N ₃ 67	N ₂ 33	N ₂ 33	N ₃ 67	N ₂ 33	N ₃ 67	N ₃ 67	N ₂ 33	N ₂ 33	N ₂ 33
PVE12.3	N ₂ 50	N ₁ 0	N ₁ 0	N ₂ 50	N ₂ 50	N ₂ 50	N ₁ 0	N ₁ 0	N ₂ 50	N ₂ 50

Tabela 94. Perfil de impacto dos centros de usinagem.

Nota: Quando a característica avaliada for expressa por uma variável contínua, muitas vezes, fica impraticável o enquadramento desta frente ao conjunto de descritores proposto para determinado ponto de vista.

Por meio da análise de correlação entre a pontuação na Escala Macbeth e ordem de grandeza da dimensão estudada, observa-se uma forte tendência ao ajustamento linear destas na determinação dos *scores* obtidas em cada ponto de vista.

As variáveis quantitativas contínuas enunciadas no modelo foram estudadas caso a caso, de modo que as equações de ajustamento obtidas para cada ponto de vista encontram-se expressas no ANEXO I.

Para a obtenção da pontuação de uma máquina em determinado ponto de vista, procede-se a substituição da medida apresentada pelo fabricante, na equação de previsão de *score* associada.

9.7.1. Avaliações dos Centros de Usinagem

Conhecido o perfil de impacto de cada centro de usinagem, segundo os descritores dos diversos pontos de vista utilizados no modelo de avaliação, encerra-se o trabalho de construção do modelo multicritérios de apoio ao processo decisório.

A avaliação global de cada centro de usinagem, ser fará então pela agregação das avaliações parciais, pelo modelo de agregação aditiva, segundo os coeficientes já retratados na Tabela 93, citada anteriormente.

$$V(M_k) = \sum_{j \rightarrow 1}^{12} W_j \cdot v[I_j(M_k)]$$

onde, M_k – Tipo da máquina avaliada

W_j – Taxa de substituição(peso) do critério avaliado

$I_j(M_k)$ – Nível de impacto em que se enquadra a máquina M_k

$v[(I_j(M_k))]$ – Escala MacBeth para o nível de impacto I_j

Com a aplicação da expressão acima sobre a Tabela 93, obtém-se os potenciais gerados pelas oito alternativas de compra/avaliação de centros de usinagem. Os resultados obtidos por meio desta operação permitem a identificação da melhor opção de máquina dentre àquelas avaliadas.

Os resultados obtidos das agregações das avaliações parciais dos centros de usinagem são indicados na Tabela 97.

Critério	M₁	M₂	M₃	M₄	M₅	M₆	M₇	M₈
PVF1	5.99	4.33	7.11	8.57	7.10	7.33	6.60	5.19
PVF2	9.12	9.12	0.00	4.56	9.12	4.56	0.00	4.56
PVF3	8.48	3.22	6.10	4.71	7.09	8.14	9.18	6.42
PVF4	8.08	5.09	3.17	9.87	7.64	6.98	6.00	8.60
PVF5	8.36	0.00	2.83	5.67	5.67	2.83	2.83	2.83
PVF6	1.59	10.58	12.15	6.47	8.99	8.14	10.58	6.47
PVF7	4.65	7.86	8.56	7.83	6.87	7.86	9.12	6.79
PVF8	1.84	0.87	0.90	1.42	1.56	2.25	0.87	1.17
PVF9	0.74	0.00	0.36	0.55	0.36	0.19	0.19	0.36
PVF10	0.99	0.99	0.99	2.01	0.99	0.99	2.01	0.99
PVF11	1.22	1.49	0.87	1.22	1.63	1.28	1.22	0.67
PVF12	0.24	0.41	0.31	0.38	0.37	0.24	0.28	0.31
$V(M_k)$	51.30	43.97	43.35	53.27	57.39	50.80	48.89	44.36

Tabela 95. Avaliação potencial dos centros de usinagem

9.7.2. Resultados Obtidos

Os indicadores apresentados na Tabela 95 retratam as máquinas M_5 , M_4 , M_1 e M_6 como as alternativas mais preferenciais segundo os aspectos levantados pelo decisor.

A superioridade da máquina M_5 perante as demais, se fez primeiramente pela suas qualidades acima da média, nas características associadas ao Comando Numérico Computadorizado – Comando CNC, ou seja, o ponto de vista fundamental PVF2, e em uma segunda análise pela sua performance perante o ponto de vista fundamental PVF3 que trata dos cursos dos eixos X, Y e Z.

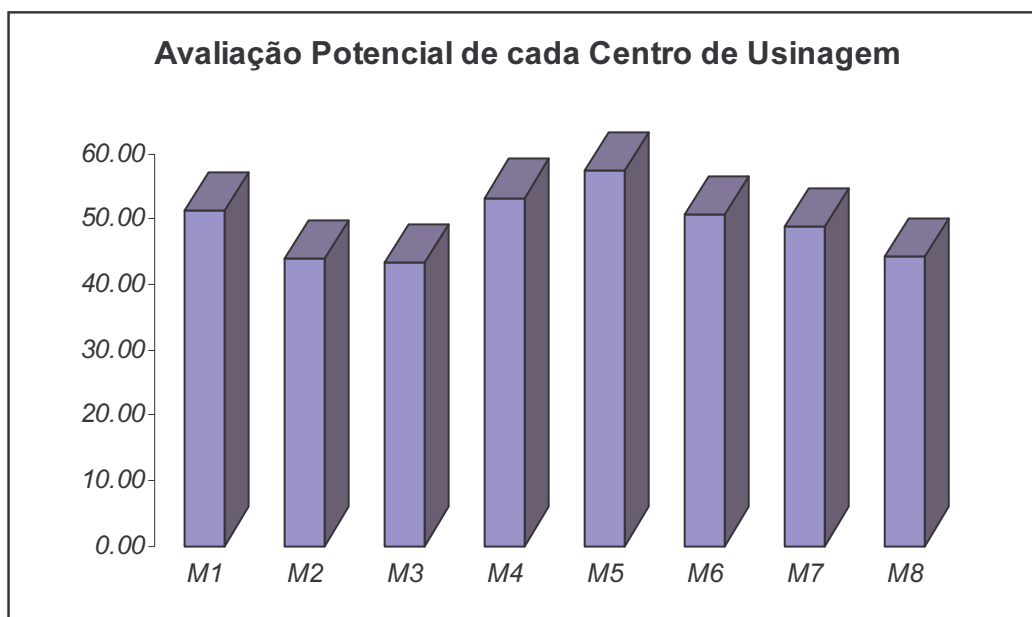


Figura 81. Avaliação potencial dos centros de usinagem

A simples observação dos resultados obtidos em termos de score, não permite o real enquadramento da vantagem competitiva de uma determinada ação em relação a outra com score imediatamente inferior.

Com o objetivo de comprovar a robustez dos resultados obtidos, procede-se a análise de sensibilidade das vantagens de cada ação perante cada ponto de vista, utilizando-se

para tal estudo o software HIVIEW, desenvolvido para a validação das escolhas com base nas escalas de preferências identificadas pelo decisor.

O programa realiza operações de transformação de escalas, de forma a permitir que julgamentos parciais, descritos com base em níveis de impacto das alternativas sob diferentes critérios de avaliação (eixos de julgamento de valor, Pontos de Vista Fundamentais à análise do problema) sejam convertidos em em juízos globais. Para tanto, opera com opções de transformação relativa, fixa e identidade, sendo que nos dois primeiros casos permite transformações direta ou inversa. O programa supõe que os níveis de impacto das alternativas sob cada ponto de vista, em julgamentos de preferências locais, podem ser descritos (ou transformados em) escala cardinal.

Identificadas as escalas de trabalho, o HIVIEW permite definição de pesos, critérios de valor que para os decisores refletem a importância relativa de cada PVF. Também indicam o quanto a alternativa mais atrativa é preferível à alternativa menos atrativa, em cada critério (PVF). Potanto os pesos indicam trade-off entre os PVF, na apreciação dos decisores.

A operação de avaliação das alternativas, em cada nível (nó) do grafo de decisão é realizada da seguinte maneira:

O peso atribuído a cada PVF_j é normatizado relativamente aos demais PVF_k pertencentes àquele nó. Resulta uma participação relativa, que é multiplicada pelo valor na escala de atratividade obtida para cada alternativa a_i , dado o $PVF_j [U_j(X_i)]$. O processo se repete para cada nível, até que se configure o valor de atratividade global, para cada alternativa.

Alterações nos pesos são automaticamente traduzidas em modificações nos valores de atratividade das alternativas, para o conjunto de PVF.

O modelo decisório é construído em estrutura arborescente invertida, em cuja raiz situa-se a preferência global que permite escolha da melhor alternativa. Trata-se de grafo arborescente; cada nó resume processo de agregação representando situação limite onde os elementos do nível anterior devem ser reunidos face a um aspecto que lhes é comum. Assim, sucessivos níveis levam desde os Pontos de Vista Fundamentais à análise do problema, até o julgamento de preferências a nível global.

Como cada PVF é descrito com base em suas peculiaridades, a agregação inicial exige transformação de escala que preserve as diferenças de valor em termos de impacto das alternativas sobre os PV. Esta transformação respeita diferenças de valor, mantendo-as para a escala de atratividade que é, a seguir, normalizada. Esta normalização é transformada conforme pesos relativos de cada PV, em níveis sucessivos, até o julgamento global. (Em outras palavras: as alternativas são registradas em separado, para cada ponto de vista. Num primeiro momento os descritores de impacto sofrem transformação de escala assegurando proporcionalidade das diferenças de níveis de atratividade. Na opção mais utilizada, os valores de atratividade de cada alternativa, segundo cada Ponto de Vista, são normatizados para intervalo 0-100. A seguir, os pesos atribuídos a cada ponto de vista são relativizados e aplicados aos valores normatizados da atratividade de cada alternativa, conduzindo-os a escalas comparáveis, o que permite sua agregação. O processo se repete para o nível seguinte, e assim sucessivamente, até o nó terminal, fornecendo grau de atratividade de cada alternativa para o conjunto de critérios, impactos e pesos utilizados. Em processo recursivo também é possível identificar a importância relativa de cada ponto de vista, na decisão global. Se, eventualmente, o decisor não concordar com algum dos elementos oferecidos à análise, poderá alterá-lo que o programa realiza todos os ajustes automaticamente.)

A comparação entre as alternativas pode ser qualitativa ou quantitativa, medida em escalas diretas ou invertidas (conforme a direção de julgamento), permitindo juízos absolutos, relativos ou mesmo subjetivos em representação gráfica. O recurso gráfico permite ainda análise de sensibilidade visual, indicando intervalos de validade da decisão sugerida. Alterações nos inputs provocam reconstrução automática das figuras, oferecendo forte instrumento para trabalhar com instabilidade de coeficientes e cenários distintos.

Utilizando estes procedimentos no processo de análise do potencial de cada centro de usinagem, perante as prioridades do decisor, consegue-se identificar o quanto tais alternativas apresentam de vantagem em relação as demais. A Tabela 96 apresenta o quadro comparativo dos indicadores de impacto de cada ação potencial perante os diversos pontos de vista.

Centro de Usinagem0 Node										
Add										
BRANCH	Wt	Neutro		M2		M4		M6		CumWt
		Bom		M1		M3		M5		
Tempo/peça	14	75	20	44	32	52	63	52	54	13.9
* ComandoCNC	9	50	0	100	100	0	50	100	50	8.9
Cursos eixos	13	69	8	64	24	46	36	53	62	12.9
Pallet	12	87	0	65	41	25	79	61	56	11.9
* Pot. Motor	15	56	0	56	0	19	38	38	19	14.9
Precisão	15	67	0	11	72	83	44	61	56	14.9
Troc. Ferram.	12	77	0	40	68	75	68	60	68	11.9
Custo	3	63	4	56	26	27	43	47	68	3.0
* Prazo/entrega	1	33	0	67	0	33	50	33	17	1.0
* Tempo garant	3	100	36	36	36	36	73	36	36	3.0
Assist. Técn.	3	74	24	49	60	35	49	65	52	3.0
Entrega Técn.	1	69	26	43	75	25	69	67	43	1.0
TOTAL		70	6	51	44	44	54	58	51	100.0

Tabela 96. HIVIEW – Indicadores de Impacto e taxas de substituição dos pontos de vista.

No processo de comprovação da melhor opção de centro de usinagem, dada pela máquina M₅, faz-se uma análise de suas vantagens perante cada critério abordado.

A identificação do nível considerado BOM e NEUTRO pelo decisor, permite quantificar o quanto a melhor alternativa tida como preferencial é superior às expectativas deste decisor. Observa-se com a análise da Tabela 97, a defasagem de 12 pontos nas características da melhor alternativa perante os desejos do decisor no processo de escolha de um centro de usinagem, estando assim abaixo do esperado pelo decisor.

Display Sorts						
M5 vs Bom						
		<input type="radio"/> MDL ORDER	<input checked="" type="radio"/> CUMWT	<input type="radio"/> DIFF	<input type="radio"/> WTD	SUM
Custo	Preço	1.4	17	0.24	92.10	■
Troc. Ferram.	Peso	1.1	0	0.00	93.18	■
Custo	Entrada	1.1	- 34	- 0.36	94.25	■
avanço rápido	Eixo y	1.0	- 31	- 0.31	95.25	■
C. Usinagem	Prazo/entrega	1.0	0	0.00	96.24	■
Assist. Técn.	Tempo desloc	1.0	- 25	- 0.25	97.22	■
Tempo/peça	Troca pallet	0.8	- 60	- 0.50	98.06	■
Entrega Técn.	Forma Instala	0.5	0	0.00	98.60	■
Custo	Financiament	0.5	- 75	- 0.36	99.07	■
avanço rápido	Eixo Z	0.5	16	0.08	99.54	■
Entrega Técn.	Treinamento	0.3	18	0.06	99.85	■
Entrega Técn.	Retreinament	0.1	- 50	- 0.07	100.00	■
		100.0		- 12.09		

Tabela 97- HIVIEW / Comparativo entre Máquina M₅ e nível BOM.

Ao ser realizar o comparativo com o nível Neutro observa-se que a alternativa apresenta 51 pontos de vantagem em relação aos níveis de indiferença do decisor.

Display Sorts						
M5 vs Neutro						
		<input type="radio"/> MDL ORDER	<input checked="" type="radio"/> CUMWT	<input type="radio"/> DIFF	<input type="radio"/> WTD	SUM
Custo	Preço	1.4	65	0.93	92.10	■
Troc. Ferram.	Peso	1.1	75	0.81	93.18	■
Custo	Entrada	1.1	33	0.35	94.25	■
avanço rápido	Eixo y	1.0	30	0.30	95.25	■
C. Usinagem	Prazo/entrega	1.0	33	0.33	96.24	■
Assist. Técn.	Tempo desloc	1.0	50	0.49	97.22	■
Tempo/peça	Troca pallet	0.8	0	0.00	98.06	■
Entrega Técn.	Forma Instala	0.5	34	0.18	98.60	■
Custo	Financiament	0.5	0	0.00	99.07	■
avanço rápido	Eixo Z	0.5	77	0.36	99.54	■
Entrega Técn.	Treinamento	0.3	73	0.22	99.85	■
Entrega Técn.	Retreinament	0.1	0	0.00	100.00	■
		100.0		51.61		

Tabela 98- HIVIEW / Comparativo entre Máquina M₅ e nível Neutro.

O estudo da vantagem competitiva da máquina M₅ em relação as demais é apresentado nas próximas tabelas, sendo de 4 pontos em relação à segunda opção de escolha

tido com a máquina M₄ e 6,6 pontos em relação à terceira classificada, ou seja, a máquina M₁.

Display Sorts					
M5 vs M4					
		<input type="radio"/> MDL ORDER	<input checked="" type="radio"/> CUMWT	<input type="radio"/> DIFF	<input type="radio"/> WTD
C. Usinagem	Pot. Motor	14.9	0	0.00	
Precisão	Posicionamen	10.0	34	3.38	
C. Usinagem	ComandoCNC	8.9	50	4.46	
Cursos eixos	Eixo X	6.4	31	2.00	
Dimensões	Direção X	5.3	- 20	- 1.07	
Precisão	Repetibilidad	4.9	- 17	- 0.83	
Troc. Ferram.	Ferr. Magazin	4.7	- 35	- 1.64	
Tempo/peça	Rotação	4.6	- 28	- 1.29	
Cursos eixos	Eixo Y	4.4	0	0.00	
Pallet	Carga admis.	3.9	- 15	- 0.59	
Tempo/peça	Avanço corte	3.8	24	0.91	
Troc. Ferram.	Diâmetro	3.6	23	0.83	
		100.0		4.02	

Tabela 99- HIVIEW / Comparativo entre as máquina M₅ e M₄.

Display Sorts					
M5 vs M1					
		<input type="radio"/> MDL ORDER	<input checked="" type="radio"/> CUMWT	<input type="radio"/> DIFF	<input type="radio"/> WTD
C. Usinagem	Pot. Motor	14.9	- 18	- 2.67	
Precisão	Posicionamen	10.0	67	6.67	
C. Usinagem	ComandoCNC	8.9	0	0.00	
Cursos eixos	Eixo X	6.4	- 31	- 2.00	
Dimensões	Direção X	5.3	20	1.07	
Precisão	Repetibilidad	4.9	17	0.83	
Troc. Ferram.	Ferr. Magazin	4.7	0	0.00	
Tempo/peça	Rotação	4.6	- 8	- 0.37	
Cursos eixos	Eixo Y	4.4	15	0.66	
Pallet	Carga admis.	3.9	- 38	- 1.49	
Tempo/peça	Avanço corte	3.8	50	1.89	
Troc. Ferram.	Diâmetro	3.6	69	2.48	
		100.0		6.62	

Tabela 100- HIVIEW / Comparativo entre as máquina M₅ e M₁.

Por meio do HIVIEW, pode-se ainda realizar uma análise da dominância de determinada ação, ou seja, a superioridade da alternativa frente aos níveis propostos pelo decisor. A Figura 48 demonstra a dominância do máquina M_5 , no quisito “precisão” para os níveis considerados como bons pelo decisor (área posterior à área tracejada).

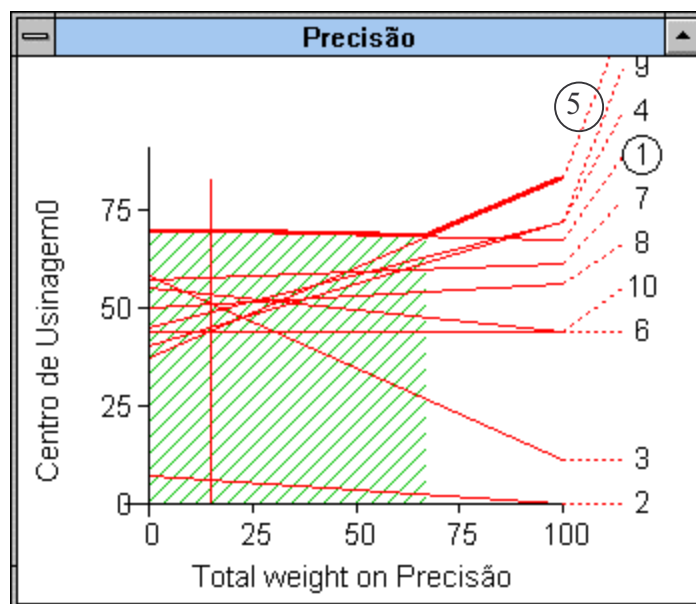


Figura 82. HIVIEW / Quadro de dominância das alternativas potenciais – PVF Precisão.

Considerado o aspecto de cursos dos eixos X,Y e Z, nota-se entretanto que o desempenho da máquina M_5 , não foi o melhor, mas mesmo assim tal avaliação parcial abaixo da média não impossibilitou a máquina de atingir um lugar de destaque dentre as avaliadas.

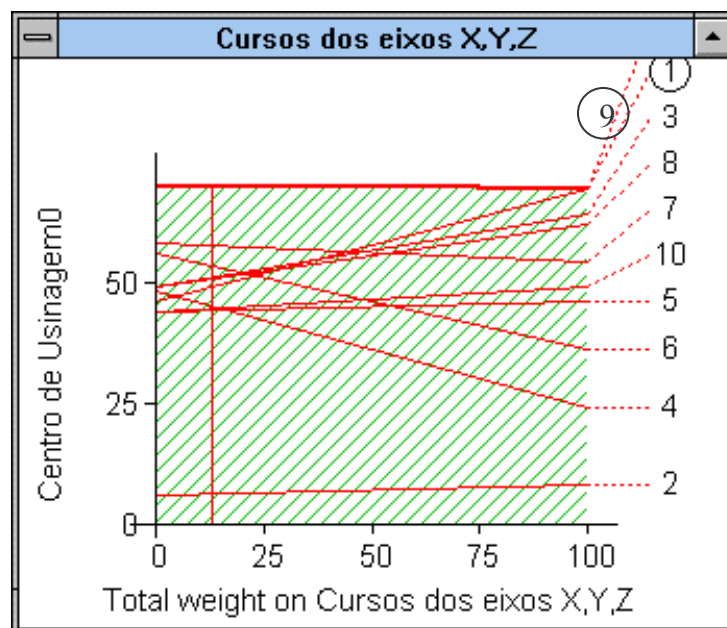


Figura 83. HIVEW / Quadro de dominância das alternativas potenciais – PVF Cursos dos eixos

O estudo comparativo de pontos de vista auxilia na verificação da superioridade um ponto de vista em relação ao outro, na avaliação global no processo de seleção de um centro de usinagem, como a situação apresentada na Figura 84 onde são contemplados os pontos de vista “Trocador automático de ferramentas” e “Precisão da Máquina” ficando evidenciado a superioridade da máquina M_3 .

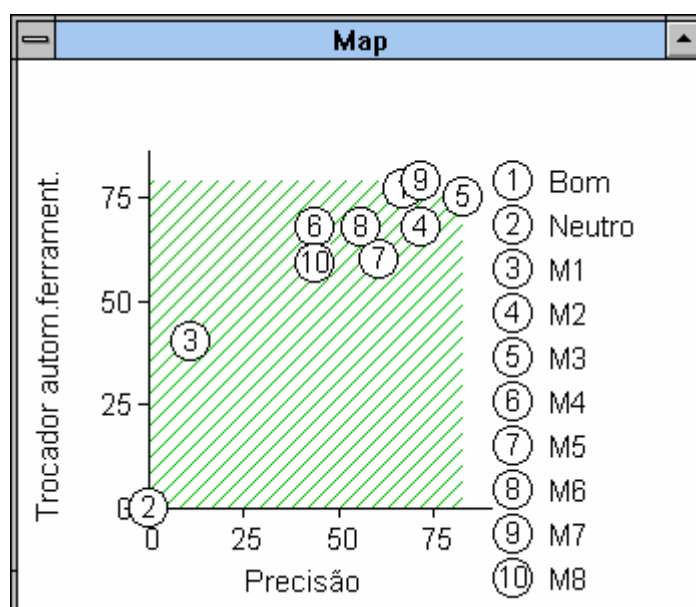


Figura 84 . HIVEW / Mapa de dominância – Precisão e Trocador automático de ferramentas.

Quando do comparativo dos itens “Assistência Técnica” e “Custo de Aquisição” ficam claras as vantagens da máquina M_5 em relação às demais máquinas.

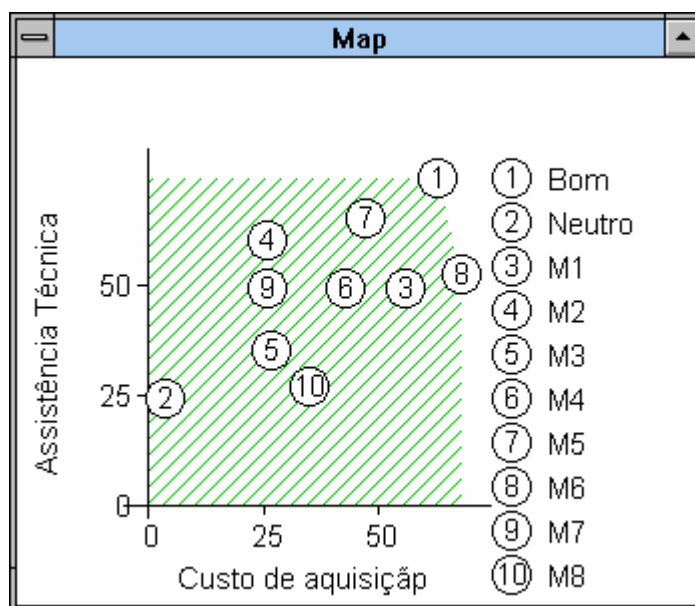


Figura 85 . HIVIEW / Mapa de dominância – Custo de aquisição e Assistência Técnica.

Os mapas de dominância auxiliam na identificação das alternativas, cujo potencial de atratividade é imediatamente inferior à aquela tida como melhor opção, dentre as áreas utilizadas pelo decisor em sua avaliação relativa.

Na Figura 85, tem-se que o melhor desempenho, exclusiva a máquina M_5 , se faz pela máquina M_6 , tendo em vista sua posição de destaque no canto superior direito da figura, implicando no retrato do bom desempenho nas duas variáveis comparadas.

Cada par de pontos de vista pode ser comparado de acordo com a necessidade e interesse do decisor em seu processo de análise, classificação ou compra de um centro de usinagem. A extensão de possibilidades para as comparações fez com que fossem apresentadas apenas algumas das possíveis situações.

Os casos citados anteriormente contemplam algumas comparações importantes e visam justificar a adoção do modelo e firmar a postura a ser adotada pelo decisor, de modo a se garantir a robustez do instrumento proposto para a seleção.

10. CONCLUSÃO

Em todos os cenários presentes em nosso cotidiano, seja ele tanto ao âmbito pessoal quanto empresarial, o processo de tomada de decisão apresenta-se fundamental para a racionalização de investimentos e esforços.

Para as organizações empresariais, a decisão correta pode implicar no sucesso ou não das ações em busca do cumprimento de objetivos e conquista de metas.

Toda a escolha realizada deve encontrar-se pautada na satisfação das prioridades da empresa, de modo que se garantam as qualidades mínimas, indispensáveis para suprir no mínimo a manutenção da posição em que a empresa ocupa perante o mercado.

A decisão a ser tomada deve visar ainda a minimização das possibilidades de adoção de escolhas erradas, evitando o emprego incorreto de esforços e recursos tanto materiais quanto financeiros.

Diante decisão da escolha/avaliação, de um centro de usinagem para uma central de usinagem, procurou-se a utilização de um instrumento de apoio à decisão do encarregado pela função.

Para que a tomada de decisão seja consistente, esta deve encontrar-se estruturalmente bem formulada, de maneira a obter-se segurança na opção realizada.

Entre as técnicas empregadas no apoio à tomada de decisão, encontra-se a metodologia multicritério de apoio à decisão, esta visa a determinação de um modelo de avaliação, baseado em múltiplos fatores para a análise, determinados a partir dos interesses dos atores envolvidos no processo.

Neste trabalho, foram contemplados na análise/avaliação, oito centros de usinagem dos fabricantes DAEWOO, YANG, WOTAN, FEELER, ROMI, FAMUD, MAZAK e OKUMA.

A elaboração deste modelo contou com a participação de inúmeros profissionais ligados à área de centrais de usinagem, responsáveis pelo levantamento das diversas variáveis a ser observadas no processo de avaliação de um centro horizontal de usinagem. Levantadas

as características mais relevantes, iniciou-se um processo interativo com o decisor responsável pelo CMPJ/Joinville.

A magnitude do problema e a relevância do contexto decisional, contribuíram para a motivação dos envolvidos.

Identificar uma forma de avaliação, a partir de uma multiplicidade de critérios, formalmente organizados para a busca de consistência, auto-sustentabilidade e redução de subjetividade no processo decisório constituíram-se nos principais aspectos envolvidos na garantia do sucesso do estudo de caso.

A construção do mapa cognitivo se constituiu como etapa fundamental para a seleção das áreas de interesse e definição das prioridades, sendo esta talvez, uma das etapas mais demoradas de todo o processo, haja visto a quantidade excessiva de fatores a serem considerados e objetivos a serem contemplados.

Os resultados obtidos foram qualificados pelo decisor como de alta significância, em decorrência da exaustividade dos fatores considerados, contribuindo assim para a formalização das ações a serem adotadas, no que tange ao processo de escolha de um centro de usinagem.

Notou-se que o número de critérios a serem explorados em uma avaliação, deve ser tal que evite a supervalorização de fatores vagamente definidos, promova a correta diferenciação entre as alternativas identificadas como potenciais e reduza, ao máximo possível, o tempo despendido pelo decisor na confecção do modelo.

Do ponto de vista produtivo, a construção do modelo serviu para a divulgação dos objetivos e interesses existentes entre os decisores envolvidos com centrais de usinagem, assim como forma de reconhecimento das características principais de um centro de usinagem.

Do ponto de vista acadêmico, a elaboração deste trabalho apresenta sua contribuição para a análise e compreensão do processo de construção de escalas, assim como sua classificação, tendo como estrutura de apoio, as definições e teoremas existentes na teoria da mensuração.

O método elaborado pretende ser aplicado dentro de empresas envolvidas com centrais de usinagem na região norte do estado de Santa Catarina.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se a elaboração de modelos para a avaliação de softwares e hardwares associados às centrais de usinagem aqui trabalhadas, assim como a matéria prima a ser utilizada neste processo industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKOFF, R. L. The future of operational research is past. **Journal of Operational Research Society**, v.30, n.2, pp.93-104, 1979.

_____. Measurement. In: _____. **Scientific method** : optimizing applied research decisions. New York : Wiley, 1962. pp.177-217.

ADAMS, E. W. Elements of a theory of inexact measurement. **Philosophy of Science**, n.32, pp.205-228, 1965.

ADAMS, E. W.; CARLSTROM, I. F. Representing approximate ordering and equivalence relations. **Journal of Mathematical Psychology**, Califórnia, n.19, pp.182-207, 1979.

ALENCAR FILHO, Edgard de. **Teoria elementar dos conjuntos**. São Paulo : Livraria Nobel, 1974. 325pp.

_____. **Lógica matemática**. São Paulo : Livraria Nobel, 1976. 205pp.

ANDRADE, Primo Nunes de. A sistematização lógica. In: _____. **Elementos de lógica** : lógica verbal clássica, lógica simbólica moderna, lógica aplicada a computadores. Rio de Janeiro : Ao Livro Técnico, 1966. pp.221-231.

AYRES JR., Frank. **Álgebra moderna**. São Paulo : McGraw-Hill do Brasil, 1979. 362pp.

BANA e COSTA, C. A. **Structuration, construction et exploitation d'un modele multicritère d'aide à la décision**. Lisboa, 1992. Tese (doutorado) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

_____, Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. Revista Pesquisa Operacional, vol. 13, n. 1, Junho. 1993.

_____. Processo de apoio à decisão : problemáticas, actores e acções. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995a.

_____. Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995b.

_____. O que entender por tomada de decisão multicritério ou multiobjectivo? **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995c.

- BANA e COSTA, C. A.; STEWART, T. J.; VANSNICK, J. C. Multicriteria decision analysis : some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995a.
- BANA e COSTA, C. A.; FERREIRA, J. A. A.; VANSNICK, J. C. Avaliação multicritério de propostas : o caso de uma nova linha do metropolitano de Lisboa. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995b.
- BANA e COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal : MACBETH. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995a.
- _____. General overview of the MACBETH approach. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995b.
- _____. Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995c.
- _____. A theoretical framework for measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique (MACBETH). **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995d.
- _____. Measuring credibility of compensatory preference statements when trad-offs are interval determined. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC**, Florianópolis, agosto, 1995e.
- _____. An interactive path towards the construction of cardinal value functions, International Transactions in Operations Research 1, p.489-500, 1994.
- BANA E COSTA, C.A. **Structuration, Construction e Exploitation d'un Modèle Multicritère d'Aide a la Décision**. Tese de Doutorado. Universidade Técnica de Lisboa, 1993.
- BEKMAN, Otto R.; COSTA NETO, Pedro Luiz O. **Análise estatística da decisão**. São Paulo : Edgard Blücher, 1980. 124pp.
- Belton, V. (1986a), "A comparative study of methods for multiple criteria decision aiding", *Thèse de Doctorat*, University of Cambridge.
(IV § 4.2.1)

- Belton, V. (1986b), "A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multiattribute value function", *Eur. J. Opl. Res.*, 26, 1 (7–21).
(IV § 4.2.1 ; V § 1)
- BINDER, Fábio Vinícius. **Sistemas de apoio à decisão**. Tatuapé : Érica, 1994. 102pp.
- BLUMENTHAL, A. L. **The process of cognition**. Prentice-Hall, 1977.
- BOYSSON, D. Some remarks on the notion of compensation in MCDM. **European Journal of Operational Research**, v.26, n.1, pp.150-160, 1986.
- CHAMPION, Dean J. Levels of measurement. In: _____. **Basic Statistics for Social Research**. Second Edition. New York : MacMillan, 1981. pp.20-24.
- COOMBS, C. H. Teoria e métodos da mensuração social. In: FESTINGER, Leon; KATZ, Daniel (Orgs.). **Psicologia social : a pesquisa na psicologia social**. Rio de Janeiro : Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1974. pp.451-511.
- CORRÊA, Émerson Corlassoli. **Construção de um modelo multicritério de apoio ao processo decisório**. Florianópolis, 1996. 227pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- COZZENS, M.B.; ROBERTS, F. S. Double semiorders an double indifference graphs. **SIAM Journal on Algebraic and Discrete Methods**, n.3, pp.566-583, 1982.
- DETONI, Mônica Maria Mendes Luna. **Aplicação de metodologia multicritério de apoio à decisão na definição de características de projeto de construção**. Florianópolis, 1996. 180pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- DOIGNON, J. P. Threshold representations of multiple semiorders. **SIAM Journal on Algebraic and Discrete Methods**, n.8, pp.77-84, 1987.
- DOMINGUES, Hygino H.; IEZZI, Gelson. **Álgebra moderna**. São Paulo : Atual Editora, 1982. 263pp.
- DRUCKER, P.F. Management: Tasks, Responsibilities, Practices. Harper & Row, New York, 1974.
- DYER, J. S.; SARIN, R. K. Measurable multiattribute value functions. **Operational Research**, v.27, n.4, pp.810-822, 1979.

EDEN, C. **Using Cognitive Mapping for Strategic Options Development and Analysis (SODA)**. in Rosenhead, J. (ed.), Rational Analysis for a Problematic World, John Wiley, 1990

EKANA, Yehuda; SEDERBERG, Joshua; MERTON, Robert K.; TRACKRAY, Arnold; ZUCKERMAN, Harriet. Measurement in the historiography of science. In: _____. **Toward ametric of science** : the advent of science indicators. New York : Wiley, 1978. pp.11-30.

ENSSLIN, Sandra Rolim. **A Importância da estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos**. Florianópolis, 1995. 146pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.

FARQUHAR, P. H.; KELLER, L. R. Preference intensity measurement. **Choice Under Uncertainty**, pp.205-217, 1989.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo : Edgard Blücher Ltda, 1982. 751pp.

FISHBURN, P. C. **Utility theory for decision making**. New York : Wiley, 1970. 234pp.

Freeling, A.N.S. (1983), "Belief and decision aiding", *Thèse de Doctorat*, University of Cambridge.

FRENCH, S. **Decision theory** : An Introduction to the mathematics of rationality. Chichester : Ellis Harwood, 1986. 450pp.

HALL JR., Marshall. Mapeos. In: _____. **Teoria de los grupos**. México : Editorial F. Trillas, 1969. pp.14-16.

HEGENBERG, Leônidas. Sistemas semânticos e cálculos. In: _____. **Lógica simbólica**. São Paulo : Herder, 1966. pp.293-336.

JELASSI, T.; KERSTEN, G.; ZIONTS, S. An Introduction to group decision and negotiation support. In: BANA E COSTA, C. A. (Ed.). **Readings in multiple criteria decision aid**. Heidelberg : Springer-Verlag, 1990. pp.537-568.

KAPLAN, Abraham. Medidas. In: _____. **A Conduta na pesquisa** : metodologia para as ciências do comportamento. São Paulo : Editora da Universidade de São de Paulo, 1975. pp.177-220.

KAUFMANN, Arnold. **A Ciência da tomada de decisão**. Rio de Janeiro : Zahar Editores, 1975. 213pp.

- KEENEY, Ralph L. **Value-Focused thinking** : a path to creative decisionmaking. Massachusetts : Harward, 1992. 416pp.
- KEENEY, Ralph L; RAIFFA, Howard. **Decisions with multiple objectives** : preferences and value tradeoffs. Toronto : Wiley, 1976. 569pp.
- KERLINGER, Fred N. Foundations of measurement. In: _____. **Foundations of behaviorial reserach**. Second Edition. New York : Hoet, Rinehart and Winston, 1973. pp.427-441.
- KRANTZ, D. H.; Luce, R. D.; Suppes, P.; Tversky, A. **Foundations of measurement**. Califórnia : Academic Press, 1971. v.1, 583pp.
- _____. **Foundations of measurement**. Califórnia : Academic Press, 1989. v.2, 493pp.
- _____. **Foundations of measurement**. Califórnia : Academic Press, 1990. v.3, 356pp.
- LIPSCHUTZ, Seymour. **Teoria dos conjuntos**. Rio de Janeiro : Ao Livro Técnico, 1967. 337pp.
- MACHADO, Aryoldo. **Comando numérico aplicado às máquinas-ferramenta**. 3.ed. São Paulo : Cone Editora, 1989. 461pp.
- MATES, Benson. Teorias formalizadas. In: _____. **Lógica elementar**. São Paulo : Companhia Editora Nacional, 1968. pp.229-255.
- MAZZILLI, Cláudio. Sistemas interativos de apoio à decisão : um processo coletivo. **Revista de Administração**, São Paulo, n.3, pp.41-54, jul./set.1994.
- MILLER, G. A. The magic number seven plus or minus two : some limits on the capacity for processing information. **Psychological Review**, New York, n.63, pp.81-97, 1956.
- MONTIBELLER NETO, Gilberto. **Mapas cognitivos** : uma ferramenta de apoio à estruturação de problemas. Florianópolis, 1996. 205pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- NARENS, L. Measurement without archimedean axioms. **Philosophy of Science**, n.41, pp.374-393, 1974a.
- _____. Minimal conditions for additive conjoint measurement and qualitative probability. **Journal of Mathematical Psychology**, New York, n.11, pp.404-430, 1974b.
- NARENS, L.; LUCI, R. P. The algebra of measurement. **Journal of Pure and Applied Algebra**, n.8, pp.197-233, 1976.
- PFANZAGL, J. **Theory of measurement**. New York : Wiley, 1968. 235pp.

PHILLIPS, Bernard S. Mensuração e escalamento. In: _____. **Pesquisa social** : estratégias e táticas. Rio de Janeiro : Livraria AGIR Editora, 1974. pp.237-312.

PINZON, Alvaro. **Conjuntos y estructuras**. México : Harla, 1977. 356pp.

RAIFFA, Howard. **Teoria da Decisão**. São Paulo : Editora da Universidade de São Paulo, 1977. 346pp.

Rescher, N. (1969), *Introduction to Value Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

ROBERTS, F. S. In: ROTA, G. C. (Ed.). **Encyclopedia of mathematics and its applications**. Cambridge : Addison-Wesley, 1979. v.7 : Measurement theory. 420pp.

_____. What if utility functions do no exist? **Theory and Decision**, n.3, pp.126-139, 1972.

ROBERTS, F. S.; FRANKE, C. H. On the theory of uniqueness in measurement. **Journal of Mathematical Psychology**, n.14, pp.211-218, 1976.

ROBERTS, F. S.; LUCI, R. P. Axiomatic thermodynamics and extensive measurement. **Synthese**, n.18, pp.311-326, 1968.

ROY, B. The outranking approach and the foundantions of ELECTRE methods, em [Bana e Costa , 1990]. p. 155-183. 1990.

ROY, Bernard. **Méthodologic multicritère d`aide à la décision**. Paris : Economica, 1985.

ROY, B.; VINCKE, P. Relational sistems of preference with one or more pseudo-criteria : some new concepts and results. **Management Science**, n.30, pp.1323-1335, 1984.

ROUBENS, M. Preference relations on actions and criteria in multi-criteria decision making. **Journal of Operational Research Society**, v.10, n.1, pp.51-55, 1982.

SAATY, Thomas L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo : McGrawl-Hill e MAKRON Books do Brasil Editora, 1991. 367pp.

Saaty, T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill.

_____. (1987), "Rank generation, preservation, and reversal in the analytic hierarchy decision process", *Decision Sci.*, 18, 2 (157–177).

SARIN, R. K. Measurable value function theory : survey and open problems. In: **Essays and surveys on multiple criteria decision making**. Spring Verlag, 1983, pp.337-346.

- _____. Conjoint measurement : theory and methods. In: BANA E COSTA, C. A. (Ed.). **Readings in multiple criteria decision aid**. Heidelberg : Springer-Verlag, 1990. pp.277-294.
- SCOTT, D. measurement models and linear inequalities. **Journal of Mathematical Psychology**, n.1, pp.233-247, 1964.
- SCOTT, D.; SUPPES, P. Foundational aspects of theories of measurements. **Journal of Symbolic Logic**, n.23, pp.113-128, 1958.
- SIEGEL, Sidney. **Estatística não paramétrica**. São Paulo : Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.
- SOETHE, VOLNEI AVILSON. **Utilização do MCDA na seleção de gerentes gerais pela Caixa Econômica Federal nas agências da região norte do estado de Santa Catarina**. Florianópolis, 1997. 163pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte I**. 4.ed. Florianópolis : Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1995. 249pp.
- STEVENS, S. S. On the theory of scales of measurement. **Science**, New York, n.103, pp.677-680, 1946.
- _____. Mathematics, measurement and psychophysics. In: STEVENS, S. S. (ed.). **Handbook of experimental psychology**. New York : Wiley, 1951, pp.1-49.
- _____. Measurement, psychophysics and utility. In: CHURCHMAN, C. W.; RATOOSH, P. (Eds.). **Measurement : definitions and theories**. New York : Wiley, 1959, pp.18-63.
- SUPPES, P.; WINET, M. An axiomatization of utility based on the notion of utility differences. **Management Science**, n.1, pp.259-270, 1955.
- SUPPES, P.; ZINNES, J. Basic measurement theory. In: LUCE, R. D.; BUSH, R. R.; GALANTER, E. (eds.). **Handbook of mathematical psychology**. v.1. New York : Wiley, 1963, pp.1-76.
- TORGERSON, W. S. **Theory and methods of scaling**. New York : Wiley, 1958. 460pp.
- TRAUBOMATIC INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Comando numérico CNC : técnica operacional : curso básico**. São Paulo : Editora Pedagógica e Universitária Ltda., 1984. 176pp.
- TVERSKY, A. Additivity, utility, and subjective probability. **Journal of Mathematical Psychology**, n.4, pp.175-201, 1967.
- _____. Intransitivity of preferences. **Psychological Review**, New York, n.76, pp.31-48, 1969.

_____. Choice by elimination. **Journal of Mathematical Psychology**, New York, n.9, pp.341-367, 1972.

VANSNICK, J. C. On the problem of weights in multiple criteria decision making (the non compensatory approach). **European Journal of Operational Research**, n.24, pp.288-294, 1986.

_____. Measurement theory and decision aid. In: BANA E COSTA, C. A. (Ed.). **Readings in multiple criteria decision aid**. Heidelberg : Springer-Verlag, 1990. pp.81-100.

VINCKE, P. Basic concepts of preference modelling. In: BANA E COSTA, C. A. (Ed.). **Readings in multiple criteria decision Aid**. Heidelberg : Springer-Verlag, 1990. pp.101-118.

VON NEWMANN, J.; MORGENSTERN, O. **Theory of games and economic behavior**. Princeton : Princeton University Press, 1953.

WAGNER, Harwey M. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro : Prentice-Hall, 1985. 851pp.

WEBER, M.; EISENFÜHR, F.; VON WINTERFELDT, D. The effects of splitting attributes on weights in multiattribute utility measurement. **Management Science**, n.34, pp.431-445, 1988.

WHITE, D.J. Operational Research. John Wiley. 1985.

ZANELA, Ítalo José. **As problemáticas técnicas no apoio à decisão**. Florianópolis, 1996. 181pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.

ZELENY, M. **Multiple criteria decision making**. New York : Mc Graw-Hill, 1982. 563pp.

ANEXOS

ANEXO I – EQUAÇÕES DOS GRÁFICOS DE FUNÇÃO DE VALOR DOS PONTOS DE VISTA

Seja uma reta qualquer definida por dois pontos $A(x_1, y_1)$ e $B(x_2, y_2)$, conforme a figura X abaixo.

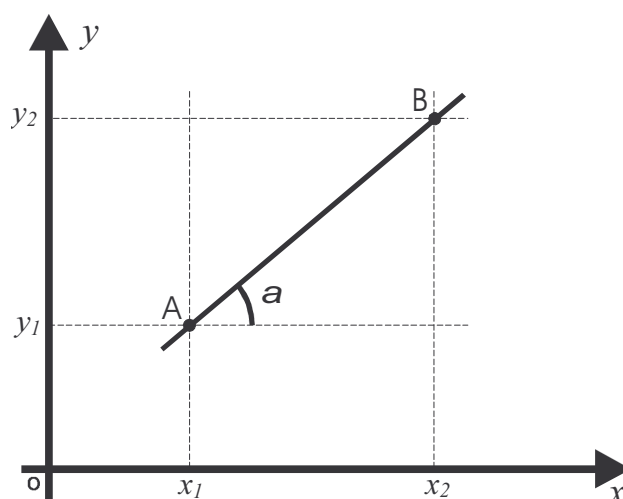


Figura I-1. Reta passando por A e B

A equação de uma reta na forma reduzida é dada por $y = ax + b$, tal que, a e b são constantes pertencentes ao conjunto dos números reais; onde a é chamado de *coeficiente angular* e b *coeficiente linear*.

A equação da reta passando pelos pontos **A** e **B** é determinada a partir dos valores das constantes a e b que são obtidos através dos valores das coordenadas desses pontos.

Sendo que,

$a = \operatorname{tg} \alpha = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$, substituindo-se na equação da reta, obtém-se:

$$y = ax + b \Rightarrow y = [(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)]x + b$$

Isolando-se a constante na equação anterior tem-se:

$$b = y - [(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)]x.$$

Agora, considerando-se $x = x_1$, $y = y_1$ vem que

$$b = y_1 - [(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)]x_1$$

Logo, a equação da reta passando pelos pontos **A** e **B** em função das coordenadas desses pontos é dada por:

$$y = [(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)]x + y_1 - [(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)]x_1 \text{ ou,}$$

$$y = [(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)](x - x_1) + y_1 \quad (1)$$

De agora em diante serão apresentadas as equações dos gráficos de função de valor dos pontos de vista, obtidas através da equação (1).

Função de valor para o gráfico do PVE 1.1

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,024N_x - 120 & \text{se } 5000 \leq N_x < 6000 \text{ RPM} \\ 0,016N_x - 72 & \text{se } 6000 \leq N_x < 7000 \text{ RPM} \\ 0,008N_x - 16 & \text{se } 7000 \leq N_x < 8000 \text{ RPM} \\ 0,020N_x - 112 & \text{se } 8000 \leq N_x < 9000 \text{ RPM} \\ 0,016N_x - 60 & \text{se } 9000 \leq N_x < 10000 \text{ RPM} \\ 0,016N_x - 76 & \text{se } 10000 \leq N_x \leq 11000 \text{ RPM} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 1.2

$$f(N_x) = \begin{cases} -14N_x + 105 & \text{se } 7,5 \geq N_x > 6,5 \text{ s} \\ -22N_x + 157 & \text{se } 6,5 \geq N_x > 5,5 \text{ s} \\ -14N_x + 113 & \text{se } 5,5 \geq N_x > 4,5 \text{ s} \\ -14N_x + 113 & \text{se } 4,5 \geq N_x > 3,5 \text{ s} \\ -18N_x + 127 & \text{se } 3,5 \geq N_x > 2,5 \text{ s} \\ -18N_x + 127 & \text{se } 2,5 \geq N_x \geq 1,5 \text{ s} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 1.3

$$f(N_x) = \begin{cases} -13,33N_x + 146,67 & \text{se } 11,0 \geq N_x > 9,5 \text{ s} \\ -13,33N_x + 146,67 & \text{se } 9,5 \geq N_x > 8,0 \text{ s} \\ -13,33N_x + 146,67 & \text{se } 8,0 \geq N_x > 6,5 \text{ s} \\ -13,33N_x + 146,67 & \text{se } 6,5 \geq N_x > 5,0 \text{ s} \\ -13,33N_x + 146,67 & \text{se } 5,0 \geq N_x > 3,5 \text{ s} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 1.4

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,00325N_x - 39 & \text{se } 12.000 \geq N_x > 16.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00350N_x - 43 & \text{se } 16.000 \geq N_x > 20.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00325N_x - 38 & \text{se } 20.000 \geq N_x > 24.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00325N_x - 38 & \text{se } 24.000 \geq N_x > 28.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00600N_x - 115 & \text{se } 28.000 \geq N_x > 32.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00575N_x - 107 & \text{se } 32.000 \geq N_x \geq 36.000 \text{ mm/min.} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 1.5.1

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,00200N_x - 24 & \text{se } 12.000 \geq N_x > 16.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00350N_x - 52 & \text{se } 16.000 \geq N_x > 20.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00375N_x - 52 & \text{se } 20.000 \geq N_x > 24.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00775N_x - 148 & \text{se } 24.000 \geq N_x > 28.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00400N_x - 43 & \text{se } 28.000 \geq N_x > 32.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00375N_x - 35 & \text{se } 32.000 \geq N_x \geq 36.000 \text{ mm/min.} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 1.5.2

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,00200N_x - 24 & \text{se } 12.000 \geq N_x > 16.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00350N_x - 52 & \text{se } 16.000 \geq N_x > 20.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00375N_x - 52 & \text{se } 20.000 \geq N_x > 24.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00775N_x - 148 & \text{se } 24.000 \geq N_x > 28.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00400N_x - 43 & \text{se } 28.000 \geq N_x > 32.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00375N_x - 35 & \text{se } 32.000 \geq N_x \geq 36.000 \text{ mm/min.} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 1.5.3

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,00200N_x - 24 & \text{se } 12.000 \geq N_x > 16.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00350N_x - 52 & \text{se } 16.000 \geq N_x > 20.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00375N_x - 52 & \text{se } 20.000 \geq N_x > 24.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00775N_x - 148 & \text{se } 24.000 \geq N_x > 28.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00400N_x - 43 & \text{se } 28.000 \geq N_x > 32.000 \text{ mm/min.} \\ 0,00375N_x - 35 & \text{se } 32.000 \geq N_x \geq 36.000 \text{ mm/min.} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 2

$$f(N_x) = \begin{cases} 0 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_1 \\ 50 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_2 \\ 100 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_3 \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 3.1

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,133N_x - 53,33 & \text{se } 400 \leq N_x < 460 \text{ mm} \\ 0,300N_x - 130,00 & \text{se } 460 \leq N_x < 510 \text{ mm} \\ 0,250N_x - 104,50 & \text{se } 510 \leq N_x < 570 \text{ mm} \\ 0,517N_x - 256,50 & \text{se } 570 \leq N_x < 630 \text{ mm} \\ 0,266N_x - 98,99 & \text{se } 630 \leq N_x < 690 \text{ mm} \\ 0,300N_x - 122,00 & \text{se } 690 \leq N_x \leq 750 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 3.2

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,133N_x - 53,33 & \text{se } 400 \leq N_x < 460 \text{ mm} \\ 0,300N_x - 130,00 & \text{se } 460 \leq N_x < 510 \text{ mm} \\ 0,250N_x - 104,50 & \text{se } 510 \leq N_x < 570 \text{ mm} \\ 0,517N_x - 256,50 & \text{se } 570 \leq N_x < 630 \text{ mm} \\ 0,266N_x - 98,99 & \text{se } 630 \leq N_x < 690 \text{ mm} \\ 0,300N_x - 122,00 & \text{se } 690 \leq N_x \leq 750 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 3.3

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,133N_x - 53,33 & \text{se } 400 \leq N_x < 460 \text{ mm} \\ 0,300N_x - 130,00 & \text{se } 460 \leq N_x < 510 \text{ mm} \\ 0,250N_x - 104,50 & \text{se } 510 \leq N_x < 570 \text{ mm} \\ 0,517N_x - 256,50 & \text{se } 570 \leq N_x < 630 \text{ mm} \\ 0,266N_x - 98,99 & \text{se } 630 \leq N_x < 690 \text{ mm} \\ 0,300N_x - 122,00 & \text{se } 690 \leq N_x \leq 750 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 4.1

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,30N_x - 90 & \text{se } 300 \leq N_x < 350 \text{ kg} \\ 0,32N_x - 97 & \text{se } 350 \leq N_x < 400 \text{ kg} \\ 0,30N_x - 89 & \text{se } 400 \leq N_x < 450 \text{ kg} \\ 0,32N_x - 98 & \text{se } 450 \leq N_x < 500 \text{ kg} \\ 0,30N_x - 88 & \text{se } 500 \leq N_x < 550 \text{ kg} \\ 0,46N_x - 176 & \text{se } 550 \leq N_x \leq 600 \text{ kg} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 4.2.1

$$f(N_x) = 0,40N_x - 180 \text{ se } 450 \leq N_x \leq 700 \text{ mm}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 4.2.2

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,50N_x - 225 & \text{se } 450 \leq N_x < 500 \text{ mm} \\ 0,38N_x - 165 & \text{se } 500 \leq N_x < 550 \text{ mm} \\ 0,38N_x - 165 & \text{se } 550 \leq N_x < 600 \text{ mm} \\ 0,36N_x - 153 & \text{se } 600 \leq N_x < 650 \text{ mm} \\ 0,38N_x - 166 & \text{se } 650 \leq N_x \leq 700 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 5

$$f(N_x) = \begin{cases} 4,75N_x - 42,75 & \text{se } 9 \leq N_x < 13 \text{ HP} \\ 4,75N_x - 42,75 & \text{se } 13 \leq N_x < 17 \text{ HP} \\ 4,50N_x - 38,50 & \text{se } 17 \leq N_x < 21 \text{ HP} \\ 6,33N_x - 76,99 & \text{se } 21 \leq N_x < 24 \text{ HP} \\ 6,25N_x - 75,00 & \text{se } 24 \leq N_x \leq 28 \text{ HP} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 6.1

$$f(N_x) = \begin{cases} -8.500N_x + 110,5 & \text{se } 0,013 \geq N_x > 0,011 \text{ mm} \\ -8.000N_x + 105,0 & \text{se } 0,011 \geq N_x > 0,009 \text{ mm} \\ -8.500N_x + 109,5 & \text{se } 0,009 \geq N_x > 0,007 \text{ mm} \\ -8.500N_x + 109,5 & \text{se } 0,007 \geq N_x > 0,005 \text{ mm} \\ -8.500N_x + 107,0 & \text{se } 0,005 \geq N_x > 0,003 \text{ mm} \\ -8.500N_x + 108,5 & \text{se } 0,003 \geq N_x \geq 0,001 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 6.2

$$f(N_x) = \begin{cases} -17.000N_x + 119 & \text{se } 0,007 \geq N_x > 0,006 \text{ mm} \\ -16.000N_x + 113 & \text{se } 0,006 \geq N_x > 0,005 \text{ mm} \\ -17.000N_x + 118 & \text{se } 0,005 \geq N_x > 0,004 \text{ mm} \\ -17.000N_x + 118 & \text{se } 0,004 \geq N_x > 0,003 \text{ mm} \\ -16.000N_x + 115 & \text{se } 0,003 \geq N_x > 0,002 \text{ mm} \\ -17.000N_x + 100 & \text{se } 0,002 \geq N_x \geq 0,001 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 7.1

$$f(N_x) = \begin{cases} 0,600N_x - 108,00 & \text{se } 180 \leq N_x < 210 \text{ mm} \\ 0,766N_x - 142,99 & \text{se } 210 \leq N_x < 240 \text{ mm} \\ 0,766N_x - 142,99 & \text{se } 240 \leq N_x < 270 \text{ mm} \\ 0,600N_x - 98,00 & \text{se } 270 \leq N_x < 300 \text{ mm} \\ 0,600N_x - 98,00 & \text{se } 300 \leq N_x \leq 330 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 7.2

$$f(N_x) = \begin{cases} 1,15N_x - 80,50 & \text{se } 70 \leq N_x < 130 \text{ mm} \\ 1,55N_x - 132,50 & \text{se } 130 \leq N_x \leq 150 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 7.3

$$f(N_x) = 10N_x - 50 \quad \text{se } 5,0 \leq N_x < 15,0 \text{ Kg}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 7.4

$$f(N_x) = \begin{cases} 4,000N_x - 48,000 & \text{se } 12 \leq N_x < 18 \text{ ferramentas} \\ 3,833N_x - 44,994 & \text{se } 18 \leq N_x < 24 \text{ ferramentas} \\ 3,000N_x - 25,000 & \text{se } 24 \leq N_x < 30 \text{ ferramentas} \\ 2,833N_x - 19,999 & \text{se } 30 \leq N_x < 36 \text{ ferramentas} \\ 3,000N_x - 26,000 & \text{se } 36 \leq N_x \leq 42 \text{ ferramentas} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 8.1

$$f(N_x) = \begin{cases} -330N_x + 99 & \text{se } 0,3 \geq N_x > 0,2 \text{ mm} \\ -340N_x + 101 & \text{se } 0,2 \geq N_x > 0,1 \text{ mm} \\ -330N_x + 100 & \text{se } 0,1 \geq N_x \geq 0,0 \text{ mm} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 8.2

$$f(N_x) = \begin{cases} 0 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_1 \\ 25 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_2 \\ 50 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_3 \\ 75 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_4 \\ 100 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_5 \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 8.3

$$f(N_x) = \begin{cases} -0,0004333N_x + 129,99 & \text{se } U\$ 300.000,00 \leq N_x < U\$ 270.000,00 \\ -0,0005666N_x + 165,98 & \text{se } U\$ 270.000,00 \leq N_x < U\$ 240.000,00 \\ -0,0006000N_x + 174,00 & \text{se } U\$ 240.000,00 \leq N_x < U\$ 210.000,00 \\ -0,0005666N_x + 166,98 & \text{se } U\$ 210.000,00 \leq N_x < U\$ 180.000,00 \\ -0,0006000N_x + 173,00 & \text{se } U\$ 180.000,00 \leq N_x < U\$ 150.000,00 \\ -0,0005666N_x + 167,99 & \text{se } U\$ 150.000,00 \leq N_x < U\$ 120.000,00 \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 9

$$f(N_x) = \begin{cases} -0,5666N_x + 101,999 & \text{se } 150 < N_x \leq 180 \\ -0,5333N_x + 96,999 & \text{se } 120 < N_x \leq 150 \\ -0,5666N_x + 100,999 & \text{se } 90 < N_x \leq 120 \\ -0,5666N_x + 100,999 & \text{se } 60 < N_x \leq 90 \\ -0,5333N_x + 98,999 & \text{se } 30 < N_x \leq 60 \\ -0,5666N_x + 99,998 & \text{se } 0 \leq N_x \leq 30 \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 10

$$f(N_x) = \begin{cases} 0 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_1 \\ 36 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_2 \\ 73 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_3 \\ 100 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_4 \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 11.1

$$f(N_x) = \begin{cases} 0 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_1 \\ 36 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_2 \\ 73 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_3 \\ 100 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_4 \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 11.2

$$f(N_x) = \begin{cases} -1,333N_x + 47,998 & \text{se } 30 < N_x \leq 36 \text{ horas} \\ -4,166N_x + 132,980 & \text{se } 24 < N_x \leq 30 \text{ horas} \\ -2,833N_x + 100,992 & \text{se } 18 < N_x \leq 24 \text{ horas} \\ -4,166N_x + 124,992 & \text{se } 12 < N_x \leq 18 \text{ horas} \\ -4,166N_x + 124,992 & \text{se } 06 \leq N_x \leq 12 \text{ horas} \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 12.1

$$f(N_x) = \begin{cases} 0 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_1 \\ 27 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_2 \\ 55 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_3 \\ 82 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_4 \\ 100 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_5 \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 12.2

$$f(N_x) = \begin{cases} 0 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_1 \\ 33 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_2 \\ 67 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_3 \\ 100 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_4 \end{cases}$$

Função de valor para o gráfico do PVE 12.3

$$f(N_x) = \begin{cases} 0 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_1 \\ 50 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_2 \\ 100 & \text{se } N_x \leftrightarrow N_3 \end{cases}$$